Die historische Entwickelung der Frage nach dem Wesen des Karstphänomens.

Inaugural-Dissertation.

Verfaßt und der

hohen philosophischen Fakultät

der

Königl. Bayer. Julius-Maximilians-Universität Würzburg

zur

Erlangung der Doktorwürde

vorgelegt

10. März 1907

von

Hans Hilpert

aus

Windsheim.

ACAD. LUDOVIC. BAT. BIBL.

WÜRZBURG.
Memminger's Buchdruckerei und Verlagsanstalt
1907.

Gedruckt mit Genehmigung der philosophischen Fakultät der Universität Würzburg.

Referent: Herr Professor Dr. Fr. Regel.

Meiner lieben Braut.

Lebenslauf.

Ich, Hans Hilpert, bin geboren am 20. April 1878 zu Windsheim, Bez. Uffenheim als Sohn des Metzgermeisters und jetzigen Privatiers Leonh. Hilpert und seiner Ehefrau Margarete, geb. Pfundt. Nach dem Besuch der Volksschule und des Progymnasiums meiner Vaterstadt absolvierte ich im Jahre 1898 das hum. Gymnasium in Erlangen und studierte sodann deutsche Sprache, Geschichte und Erdkunde und zwar 1898 bis 1900 an der Universität Erlangen und im Studienjahr 1900/01 und W.-S. 1901/02 an der technischen Hochschule bezw. an der Universität in München. In dieser Zeit hörte ich die folgenden Herren Professoren: an der Universität in Erlangen: Fester, Flasch, Pechuel-Loesche, Pöhlmann und Steinmeyer, an der technischen Hochschule in München: Ebert, Götz, Günther, v. Hertz, Graf Du Moulin-Eckart und v. Reinhardstöttner und an der Universität München: Doeberl, Oberhummer und Paul. Der Hauptprüfung für das Lehramt der deutschen Sprache, Geschichte und Geographie unterzog ich mich im Jahre 1901 und der 2. Prüfung (dem sog. Spezialexamen) im Jahre 1903. Von Ostern 1902 bis Ostern 1905 war ich an der Pfeiffer'schen Privatrealschule in Jena angestellt und von Ostern 1905 bis Ostern 1906 hatte ich die Stelle eines Oberlehrers am städt. Realprogymnasium zu Grabow i. M. inne. Seit dem Herbst des Jahres 1906 bin ich Assistent an der Oberrealschule Kaiserslautern.

Die vorliegende Arbeit verdankt ihre Entstehung einer Anregung des Herrn Professors Dr. Sigmund

Günther in München, dem ich auch an dieser Stelle für die ersten Ratschläge meinen verbindlichsten Dank sage. Zu besonderem Dank aber fühle ich mich verpflichtet Herrn Professor Dr. Fr. Regel, der in liebenswürdigster Weise das Referat über meine Arbeit übernommen hat und mir auch sonst gerne mit seinen Ratschlägen an die Hand gegangen ist, sowie den Herren Professoren Dr. Boll und Dr. Brenner, die die Prüfung aus den Nebenfächern übernommen haben.

Die mündliche Prüfung hat am 21. Juni 1908 stattgefunden.

Hans Hilpert.

Einleitung.

Seit im Jahre 1893 in den Geographischen Abhandlungen von A. Penck die erste zusammenfassende Monographie des gesamten Karstphänomens: „Das Karstphänomen“ von Jovan Cvijić aus Belgrad erschien, ist durch die Arbeiten bewährter Forscher wie J. Cvijić, Fr. Kraus, A. Grund, A. Penck u. a. das Karstproblem seiner Lösung wesentlich näher gerückt. Den derzeitigen Stand der Wissenschaft vom Karst und seinen Problemen hat nun unlängst W. von Knebel in seiner „Höhlenkunde mit Berücksichtigung der Karstphänomene“ zur Darstellung gebracht (Braunschweig, Fr. Vieweg & Sohn, 1906). Aber an einer systematischen Schilderung des Entwicklungsganges der Frage nach dem Wesen des Karstphänomens hat es bislang meines Wissens gefehlt. Ich habe mir deshalb die Aufgabe gestellt, die Geschichte der einschlägigen Theorien von den ältesten Zeiten, insbesondere von den Zeiten Valvasors, des Begründers der wissenschaftlichen Karstforschung, bis zur Gegenwart: bis zu den sich scharf gegenüberstehenden Ansichten von Franz Kraus und Jovan Cvijić und dem sich anbahnenden Ausgleich beider sich bekämpfenden Richtungen, der älteren Einsturztheorie und der jüngeren Erosionstheorie, die zuletzt durch Alfred Grund eine Modifizierung erfahren hat, einer näheren Betrachtung zu unterziehen.

Die Ursachen, welche die Lösung der Frage so lange verzögerten und die widersprechendsten Ansichten zu zeitigen vermochten, sind verschiedener Art: Einmal führte die unglaubliche Verwirrung der Nomenklatur zu Mißverständnissen, so daß es vorkam, daß ein Forscher gegen den andern polemisierte, nur weil dieser für eine Einsturzerscheinung eine Bezeichnung annahm, die er selbst für eine Erosionserscheinung gewählt hatte; sodann verleitete der Umstand, daß die Entstehungsmerkmale der einzelnen Erscheinungen sich verhältnismäßig rasch verwischen, manche Forscher zu einer Verwechslung der sekundären äußeren Einflüsse, welche die gegenwärtige Form hervorriefen, mit der eigentlichen Entstehungsursache; dazu kommt die große Schwierigkeit, selbst bei Vermeidung des soeben genannten Fehlers, aus der gemachten Beobachtung den richtigen Schluß auf die Genesis der betreffenden Erscheinung zu ziehen. So führten Cvijić und Kraus eine bei Unterloitsch in Krain beobachtete Doline als schlagenden Beweis für ihre entgegengesetzten Theorien an, und die Trebićgrotte nimmt A. von Morlot als Beweis für seine Höhlenbildungstheorie durch Eruptionen sauerer Mineralwasser, Schmidl für seine Einsturz- und Cvijić für seine Erosionstheorie in Anspruch.

Da wir im Verlaufe der Abhandlung wiederholt die Erfahrung machen werden, daß zu gewissen Zeiten die einzelnen Forscher in ihrer Ansicht bezüglich der Zugehörigkeit der einzelnen Oberflächen- und Tiefenerscheinungen zum Karstphänomen von einander abweichen, so liegt es uns zunächst ob, eine allen Verhältnissen Rechnung tragende Definition des Karstphänomens zu geben. Wir wählen hiezu wohl am besten diejenige Alexander Supans, da sie sowohl die Morphologie als die Genesis der einschlägigen Erscheinungen berücksichtigt. A. Supan gibt uns (Grundzüge der physischen Erdkunde, 2. Aufl. S. 362 u. 363) folgenden Überblick der einzelnen Elemente des Karstphänomens:

1.) Gebilde der Tiefenerosion:
   a. primäre: Höhlen;

b. sekundäre: durch Einsturz entstanden
   a. alle Schwemmlanddolinen,
   b. Felsendolinen (zum Teil),
   c. Naturschachte (zum Teil),
   d. Offene Talstücke.

2.) Gebilde der Oberflächenerosion:
   a. Im reinen Kalkstein:
      a. auf ebenem oder sanft geneigtem Kalkboden:
         aa. Felsendolinen (zum Teil),
         bb. Naturschachte (zum Teil),
      b. auf stark geneigtem Kalkboden: Karren.
   b. In unreinem Kalkstein: geologische Orgeln.

3.) Tektonische Formen, durch die Tiefenerosion modifiziert: Poljen.

Wir werden im Verlaufe der Abhandlung immer wieder auf diese Einteilung mit ihrer Nomenklatur zurückkommen, da sie einerseits nicht zu sehr in's Einzelne geht, wie beispielsweise diejenige von Cvijić, andererseits bezüglich der verschiedenen Richtungen eine Mittellinie einschlägt und deshalb für eine entwickelungsgeschichtliche Betrachtung sich vorzüglich als Norm eignet.

Außer den obengenannten, von Supan aufgeführten Karsterscheinungen werde ich gegebenen Falles auch die verschiedenen Ansichten über die Bildung der sog. Terra rossa in den Kreis meiner Betrachtungen ziehen, da diese von manchen Forschern als ein die Auflösung des Kalkes begleitender oder durch sie bedingter Vorgang zum Karstphänomen gerechnet wird.

Infolge der, zumal im 19. Jahrhundert stark angeschwollenen Literatur über das Karstphänomen muß ich es mir versagen, alle Autoren einer eingehenden Würdigung zu unterziehen; ich muß mich vielmehr darauf beschränken, nur die bahnbrechenden und bedeutendsten Vertreter der verschiedenen Richtungen gründlicher zu beleuchten, während die mit diesen übereinstimmenden Forscher kurz erwähnt, die nur

in einigen Punkten abweichenden Autoren jedoch bezüglich der divergierenden Punkte etwas näher behandelt werden sollen.

Die französische Karstforschung, die auf ihrem Gebiete ebenfalls ganz Hervorragendes leistete, habe ich nur insoweit gestreift, als sie befruchtend auf die österreichische eingewirkt hat; die neuere französische Karstforschung, deren hervorragendste Vertreter Daubrée (Hauptwerk: Les eaux souterraines à l'époque actuelle, Paris 1887) und Martel (Hauptwerk: Les abîmes, Paris 1894) sind, habe ich nicht mehr in den Kreis meiner Abhandlung gezogen. Der Entwickelungsgang der französischen Karstforschung soll in einer späteren Abhandlung gewürdigt werden.

I.

Das Altertum.

Wie sich die Sage von jeher mit besonderer Vorliebe mit den Karstphänomenen, namentlich mit den Höhlen [1]), aber auch mit den Dolinen und Naturschachten, den „Wetter- und Windlöchern“ [2]), wie sie der Volksmund benennt, den Karren oder Schratten,[3]), selbst der Terra rossa [4]) beschäftigt und die wunderlichsten Erklärungen an diese Erscheinungen geknüpft hat, so haben einzelne Karstphänomene schon im grauen Altertum Aufmerksamkeit erregt. Daß namentlich **die Griechen** ihr besonderes Augenmerk auf diese Erscheinungen richteten, ist selbstverständlich, da sie ja ein Land mit ausgesprochener Karstnatur bewohnten, dessen zahlreichen Höhlen und in Katabothren verschwindenden und später wieder zu Tage tretenden Flüsse mächtig auf die Phantasie der Bewohner einwirken mußten. So waren denn in der Tat — wie Naumann und Partsch nachweisen (Physische Geographie von Griechenland, Breslau 1885, S. 254) — die Karstphänomene von bedeutendem Einfluß auf Religion und Mythenbildung der alten Griechen. Nach Daw-

---

[1]) Viele Beispiele sowie reichen Literaturnachweis über Höhlensagen und Sagenhöhlen bringt Franz Kraus in seiner Höhlenkunde (Wien, Carl Gerolds Sohn, 1894. S. 220—229).

[2]) Zahlreiche Fabeleien über „Wetter- und Windlöcher“ finden sich z. B. eingestreut in Valvasors umfangreichem Werke „die Ehre deß Hertzogthums Crain, Laibach 1689.“

[3]) Snyder von Wartenberg, Besondere Beschreibung des Entlibuches, Luzern 1781/82. S. 1—17.

[4]) Lorenz, Geologische Rekognoszierungen im Liburnischen Karste. Jahrb. der geol. R. A. 1859, S. 341.

kins (Die Höhlen und die Ureinwohner Europas, Leipzig und Heidelberg 1876) hielt man vielfach die Höhlen für die Zugänge zur Unterwelt, und Franz Kraus (a. a. O. S. 224) bringt die Sage vom Kampfe des Herakles mit der lernäischen Hydra in Verbindung mit der Quelle Amymone bei Myli und einer jetzt verschwundenen Austrittsstelle der submarinen Quelle Deine bei Kiveri, wo Herakles den Kopf der Wasserschlange vergraben, d. h. die Mündung der Quelle verstopft haben soll. Aehnliche interessante Zusammenhänge zwischen griechischer Mythenbildung und Karsterscheinungen — wir erinnern nur an die Vorstellung von den Flüssen der Unterwelt — dürften sich bei genauerer Prüfung wohl auch sonst noch nachweisen lassen, wodurch unter Umständen wertvolle kulturhistorische und anthropologische Aufschlüsse vermittelt werden könnten.

Die Griechen haben sich aber auch schon über die auffälligsten Erscheinungen, über die Höhlenbildung, die unterirdischen Flußläufe und die Niveauschwankungen in den abflußlosen Kesseltälern Gedanken gemacht und deren Ursachen zu ergründen gesucht. Schon Herodot berichtete über den unterirdischen Lauf des Lykosflusses, Pausanias über den Oberlauf des Alpheios und Strabo über die Katabothren des heutzutage trocken gelegten Kopaïs-Sees. Aristoteles und Strabo nahmen an, daß der Höhlenreichtum Griechenlands in direktem Verhältnisse zu der Häufigkeit der Erdbeben stehe, während Pausanias die entgegengesetzte Ansicht vertritt. Im allgemeinen aber war das Resultat dieser Beobachtungen der Schluß, daß die durch Erdbeben verursachten Einstürze den geregelten Abfluß gewisser Flüsse störten und die Stauungen in den Kesseltälern auf die durch diese Einstürze bewirkten Verstopfungen der Abflußhöhlen zurückzuführen wären. Da jedoch die griechischen Naturforscher und Philosophen die gemachten Beobachtungen zu sehr verallgemeinerten und in ihrer Bedeutung zu hoch einschätzten, so gelangten sie zu irrtümlichen Anschauungen insbesonders bezüglich der Beschaffenheit des gesamten Erdkörpers

selbst. Wenn sie sich wie beispielsweise Plato und Aristoteles den Erdkern von grossen Hohlräumen und Schluchten, von Kanälen, Röhren und Adern durchzogen dachten, durch die Ströme von flüssigem Feuer, Schlamm, Luft und Wasser umhergetrieben werden, wobei das Wasser wieder zur Oberfläche gelenkt wird, um Flüsse und Meere zu speisen, so dürfte diese Ansicht wohl eine Folge der erwähnten Verallgemeinerung und Ueberschätzung der beobachteten Erscheinungen sein. Auch auf die Vorstellungen der Alten von verborgenen Beziehungen zwischen entfernten Gewässern waren wohl die Karstphänomene von bestimmendem Einfluß, wie Neumann und Partsch an einer Reihe von Beispielen nachweisen (a. a. O. S. 255).

So haben wir den Griechen eine Reihe von wertvollen Mitteilungen sowie die ersten Versuche zu danken, die Ursachen dieser merkwürdigen Erscheinungen näher zu ergründen; das Wesen des Karstphänomens in seiner Gesamterscheinung konnte ihnen freilich noch nicht zum Bewußtsein gekommen sein.

Auch den **Römern** waren vereinzelte Erscheinungen des in Frage stehenden Phänomens bekannt. So geschieht des öfteren eines ‚Lugeus lacus' oder bei Strabo ‚Lugea palus' Erwähnung. Es ist nicht ganz sicher, was darunter zu verstehen ist. Valvasor erkennt darin den Zirknitzer See (a. a. O. IV. Buch, 47. Kap.), Steinberg (Gründliche Nachricht von dem in Inner-Crain liegenden Czirknitzer See, Graz 1761, S. 4) sucht ihn bei Planina, Urbas endlich hält das Laibacher Moor dafür (das Phänomen des Zirknitzer Sees, Zeitschr. d. deutsch. u. österr. Alpenvereins 1879, S. 33). Weit grösseres Interesse noch als der genannte See beanspruchte im Altertum der Timavo, der heutigen Tages als der Unterlauf der Reka, die nach ihrem Verschwinden in den Höhlen von St. Canzian nahezu 36 km unterirdisch verläuft, festgestellt ist. Denn die auffallende Tatsache, daß dieser Fluß bei seinem Ursprung bereits eine so beträchtliche Wassermenge mit sich führt, daß er Schiffe zu tragen vermag, erregte in hohem

Maße die Verwunderung des Reisenden. Zahlreich sind denn auch die Erwähnungen des Flusses bei den römischen und griechischen Schriftstellern. Freiherr von Czoernig führt in seiner Monographie „Das Land Görz und Gradiska“ 24 Schriftsteller und Geographen des Altertums und des beginnenden Mittelalters an, die sich mit dem Timavo beschäftigen. Wir nennen außer Polybius, Livius, Plinius besonders Vergilius (Aen. I. V. 245) und Strabo, von denen der erstere neun, der letztere sieben mit bedeutendem Getöse hervorbrechende Quellarme angibt, während er gegenwärtig nur noch in drei Mündungen dem Karste entströmt und ruhigen Laufes dem Meere zufließt — ein Beweis, daß seine Quellen teilweise versiegt sind oder auf anderem Wege dem Meere zustreben.

Ein Rückblick auf das Altertum zeigt uns also, daß sich dieses, abgesehen von den ersten schüchternen Erklärungsversuchen und philosophischen Spekulationen der Griechen, lediglich darauf beschränkte, einzelne hervorragende Merkwürdigkeiten zu registrieren, ohne jedoch eine bestimmte Vorstellung von dem wahren Wesen und den Ursachen des Karstphänomen zu bekommen.

II.

Die ältere montanistische Forschung.

Waren schon im Altertum die Nachrichten über die Karstgegenden dürftig genug gewesen, so fehlen diese im Mittelalter fast vollständig. Zwei Gründe vornehmlich dürften dafür maßgebend sein: einmal war die mittelalterliche Weltanschauung der Naturwissenschaft und damit der physischen Geographie überhaupt nicht günstig; sodann waren diese Gegenden mehr als im Altertum dem Gesichtskreis der abendländischen Völker entrückt.

Wohl wird unter den Inschriften der sogenannten „alten Grotte“ des Adelsberger Höhlensystems als

älteste Jahreszahl 1213 angegeben, doch ist nach Schmidl dafür wahrscheinlich 1413 zu lesen. Sichere Nachrichten über diese Gegenden liegen uns erst wieder seit Beginn der Neuzeit vor, und zwar sind es wieder, wie im Altertum, zunächst nicht die Höhlen, die im Vordergrunde des Interesses stehen, sondern hydrographische Merkwürdigkeiten: der Timavo und der Zirknitzer See. So erwähnt letzteren bereits Sebastian Münster (1489—1552) in seiner ‚Cosmographia universa', der ersten großen, deutsch geschriebenen Weltkunde.

Die Tatsache, daß im Frühjahr die Gewässer des Sees durch die Ponore in das Innere der Erde sich zurückziehen, um im Herbst bei Beginn der niederschlagsreichen Zeit — der adriatische Karst ist durch Oktoberregen ausgezeichnet — wieder zu Tage zu treten, ferner die vielverbreitete Fabel, man könne auf dem Gebiete des Sees im gleichen Jahre fischen, ernten und jagen, gibt dem württembergischen Philologen und Dichter **Nikodemus Frischlin** (1547—1590), der von 1582—84 in Laibach die Stelle eines Schulrektors inne hatte, Veranlassung, in einer lateinischen Ode, die Urbas deutsch wiedergibt, den Zirknitzer See zu preisen,

„Der aus der Erd' aufsteigt, dann unter den Boden zurücksinkt,
„So nach eignem Gesetz schwindet und wieder erscheint.
„Sieh' es verschlingt die Wellen des Sees die gehöhlete Erde,
„Wenn sich der purpurne Lenz wiedergeboren erhebt."

Frischlin schildert sodann die Bewirtschaftung des trocken gelegten Seebodens und fährt folgendermaßen fort:

„Doch ist herbstlicher Frost nach der Zeit der Ernte gekommen,
„Steigt die versunkene Flut neu aus der Tiefe empor.
„Wie aus Röhren entsandt dringt ein mit Macht das Gewässer

„Wieder das fruchtbare Feld füllend, soweit es sich dehnt.
„Mit der entstiegenen Flut taucht auf der Fische Gewimmel;
„Bunt am Scheitel geschmückt, kehrt auch die Ente zurück.
„Wo du im Sommer geschaut schlankleibiger Ziegen Gedränge,
„Streicht im Winter der Fisch über das nasse Gefild;
„Wo dem Vogel das Netz, dem wandernden, stellte der Finkler,
„Treibt bedächtig den Kahn jetzo der Fischer dahin.
„Weigerst du Glauben dem Wort? Ich sah's mit eigenem Auge,
„Und doch Glauben fürwahr schenk' ich dem eigenen Aug!"

Mit der gleichen Erscheinung befaßt sich auch **Philipp Clüver** (1580—1623) in seiner ‚Germania antiqua'. Bei ihm findet sich auch zuerst die Fabel, die wiederkehrenden Gewässer brächten lebende Enten aus dem Innern der Erde mit sich heraus, eine Fabel, die auch bei Valvasor eine große Rolle spielt und der erst von Fr. von Steinberg (a. a. O. III. Kap. IV. Abschnitt, S. 36) ein Ende gemacht wird. Ueber den See selbst berichtet Clüver, wie folgt: ‚Scrobes autem sunt, quibus aquae evomuntur, rursum absorbentur, ita in saxeo solo natae, ut humano opere excisae videantur. Lucii hic capiuntur, lacu exundante, qui duos cubitos longitudine excedunt: unde certum est, eos gigni intra eas voragines et augeri; cum; fieri nequeat, ut dum foris stagnant aquae, ad tantam magnitudinem perveniant. Sed id etiam maxime mirere, ex praedictis montium cavernis vivas evehi anates: quae in locis subterraneis, quo aurae aditus non pateat, degere minime possunt, ingentia igitur haec stagna esse opportet.'

Ferner geschieht des Sees Erwähnung von Matthäus Merian in seiner ‚Topographia', von Georg Werner (‚De admirandis Hungariae aquis') und von Zeiler (‚Germania nova et antiqua') und vielen anderen.

Etwas eingehender behandelt der berühmte Jesuit **Athanasius Kircher** (1601—1680) das Phänomen des Zirknitzer Sees in seinem ‚Mundus subterraneus' (Tom. I. 305, Tom. II. 94). Nach ihm füllen sich die „Wasserbehälter" des den See umgebenden Gebirges infolge der sommerlichen Schneeschmelze; Ende Oktober seien dieselben gefüllt, und das überflüssige Wasser trete durch einen verborgenen unterirdischen Gang zu Tage und verwandle so die ganze Ebene in einen See; das in den Höhlungen angesammelte Wasser werde hiebei durch Saugheber in die Höhe gehoben und dann erst in die Tiefe geleitet. Im Frühjahr verschwinde das Wasser wieder, allerdings auf anderem Wege als es gekommen sei, eine Ansicht die von Valvasor richtig gestellt wird.

Ganz Wunderbares berichtet Kircher über den Timavo. Er erkennt zwar ganz richtig die Identität zwischen diesem Flusse und der bei St. Canzian verschwindenden Reka; allein bei dem Versuch, den abwechselnd hohen oder niederen Wasserstand des Timavo zu erklären, verfällt er auf eine höchst seltsame Hypothese. Darnach stünde die Zu- und Abnahme dieses Flusses in ursächlichem Zusammenhange mit Flut und Ebbe. Dem unterirdischen Laufe des Timavo ströme nämlich durch einen unterirdischen Kanal das Meerwasser entgegen und zwinge so das Süßwasser des Flusses, das vermöge seines geringen Gewichtes nicht obsiegen könne, seinen weiteren Weg durch einen anderen Kanal zu suchen. Auf diese Weise werde nach und nach der vollständig von Höhlen und Klüften durchzogene Timavus-Berg von unten bis oben mit Wasser gefüllt, um alsdann das überschüssige Wasser durch eine Anzahl von Löchern auszustoßen. Mit der Flut sei der Ausfluß des Wassers stärker, mit der Ebbe geringer. Von irgend einer der größeren Karsthöhlen weiß Kircher nichts zu berichten, und doch hätte er derselben sicher erwähnt, wenn sie ihm bekannt gewesen wären.

Die ersteren bestimmteren Nachrichten haben wir den einheimischen Topographen zu verdanken. Große Unvollkommenheit weist noch Schönlebens ‚Car-

niolia antiqua et nova' auf, das im Jahre 1681 erschien. Die Adelsberger Grotte ist auffallender Weise Schönleben noch unbekannt, dagegen kennt er bereits die Lueger Höhle „Lugea specus" (I; 123), von welcher er ausdrücklich sagt, daß seines Wissens keiner der alten Historiker derselben erwähnt. Interessant sind die dem Werke beigegebenen Karten.

Weitaus bedeutender als Schönleben und seine Vorgänger ist für die Karstforschung jedoch Johann Weichard Freiherr **von Valvasor** geworden, den wir mit Fug und Recht den ersten wissenschaftlichen Karstforscher nennen können. Die Resultate, die dieser unermüdliche und unerschrockene Gelehrte bei seinen Untersuchungen in Krain erzielte, sind niedergelegt in seinem großen Werke: „Die Ehre des Hertzogthums Krain" (Laibach 1689), bis weit in das 19. Jahrhundert das Hauptwerk und auch heute noch recht lesenswert, wenn es auch bedauerlicher Weise durch die Anmerkungen und Erweiterungen des fabelsüchtigen Erasmus Franzisci etwas entstellt wurde. Valvasor stand wie die vorhergehenden und gleichzeitigen Forscher auf montanistischem Standpunkte. Er stand noch vollkommen unter dem Einflusse des mosaischen Schöpfungsberichtes und war zu sehr mystisch veranlagt, als daß er aus seinen Beobachtungen hätte weitergehende Schlüsse ziehen wollen, wie er ja auch in seiner Vorrede erklärt: „daß daferrn je, über alles mein hoffen, wissen, und begreiffen, eine einige Zeil oder Wort dieser Historisch-Topographischen Beschreibung dem geringsten Punct oder Stück Catholischer Religion widerstünde; solches hiemit, durch mich, für ungültig erklährt seyn solle." Und doch finden sich bei ihm bereits die rudimentären Ansätze jener Theorien, die diese „Naturwunder" als Produkte physikalischer Kräfte zu erklären suchen. So unternimmt er es (Buch II; Kap. 16), die Ursache des Verschwindens und Wiederhervorbrechens vieler Karstflüsse zu ergründen. Da diese interessante Stelle als Vorläufer jener Theorie betrachtet werden kann, die in der „Störung der begonnenen Talbildung in Kalkgebirgen durch Gebirgsfaltung"

die Grundursache der Karsterscheinungen sieht, so sei sie hier wörtlich mitgeteilt. Demzufolge besteht die Ursache des Verschwindens der Karstflüsse darin, „daß der Ort, wo der Fluß unter die Erde geht, etwas erhabener, als der Mittel-Grund oder Bodem deß Stroms, welches ihm dann verhinderlich entgegensteht, und keinen über-irdischen Fort-Lauff gestattet. Daher er bemüssigt wird, der Erden, die ihn nicht, auf ihrem Rucken, weiter tragen will, durch den Leib zu passiren, und zwar solange, in ihrem Eingewcide, oder Bauch, fort zu wallen, biß sie ihm wiederum ihren stolzen Rucken erniedrigt und unterwirft; das ist, biß er dahin gelangt, wo sie, nach und nach, wiederum in etwas sinket, und ein wenig tiefer sich neiget, als sein Canal, oder der Bodem seines Stroms. Zweytens; giebt dieses dazu Ursach, und Gelegenheit; weil die Erde, selbiger Gegend, irgend hohl, oder auch nicht allzuhart noch fest, dem anströmenden Fluß gar leicht nach- und freyen Paß giebt."

Bezüglich der in dem von ihm untersuchten Karstgebiete so häufig vorkommenden Höhlen verzichtet Valvasor auf eine Erklärung, weist indessen die Ansicht seines etwas älteren Zeitgenossen Schönleben zurück, der die Entstehung derartiger Höhlen auf den etwa durch ein Erdbeben herbeigeführten Einsturz zweier Berge, die das zwischen beiden liegende Tal überwölbten, zurückführt. Dagegen nimmt er innerhalb der Höhlen partielle Einstürze an, auf welche die Trümmerhaufen in denselben schließen ließen, wie z. B. diejenigen in der Höhle von Lueg, die möglicherweise bei dem Erdbeben des Jahres 1368 herabgefallen seien (IV. Buch, 7. Kap.). Auch das Wesen der Tropfsteinbildung hat Valvasor schon ziemlich richtig erkannt, wenn er auch zugibt, „daß wohl auch einige Wunder-Wandlungen lebendiger Creaturen, in Stein irgendswo mögen zu finden seyn", wie Schönleben und andere glaubten. Die Zeit des Wachstums der Tropfsteingebilde gibt er auf etliche tausend Jahre an (IV. Buch, 4. Kapitel).

Was die auffallendsten äußeren Erscheinungen im Karstgebiete, die Dolinen, anlangt, so fehlen ge-

rade hierüber Erklärungsversuche vollständig, obwohl Valvasor dieselben aufs eingehendste untersucht hat. Einen breiten Raum nimmt die Behandlung des Zirknitzer Phänomens ein. So viel Ungereimtes Valvasor hierüber auch berichtet, so hat er doch mit ziemlicher Klarheit erkannt: erstens, daß die in Frage stehenden eigentümlichen Bewässerungsverhältnisse im wesentlichen von der Kesselform des Zirknitzer Tales abhängig sind (Buch IV, Kap. 47), und zweitens, daß An- und Ablauf des Sees eine Folge der Witterungsverhältnisse sind. Es ist dies ein wesentlicher Fortschritt gegenüber jenen Autoren, die annahmen, daß der See durch einen unterirdischen Kanal mit dem Meere kommuniziere und gleichzeitig mit Ebbe und Flut sinke bezw. steige, eine ähnliche Hypothese, wie sie Kircher bezüglich des Timavo aufgestellt hatte.

So wichtig auch die Forschungsresultate Valvasors auf theoretischem Gebiete sind, sein Hauptverdienst liegt auf einem anderen, dem deskriptiven.

Valvasor selbst war praktisch als Höhlenforscher tätig und hat uns aus dem reichen Schatze seiner Erfahrung eine Fülle des wichtigsten Materials hinterlassen. Kaum eine der vielseitigen Karsterscheinungen hat er übergangen. Er kannte bereits die auch heute noch am meisten besuchten Höhlen und hat uns von vielen z. B. von den Grotten von Adelsberg, San Servolo, Kleinhäusel, Trebič und Lueg die genaueste Beschreibung geliefert. Freilich sind ihm dabei die mannigfachsten Irrtümer unterlaufen, besonders da, wo er von Hörensagen berichtet. So täuscht er sich besonders häufig über die Tiefe von Höhlenschlünden und über die Länge von Höhlengängen, was indessen erklärlich ist, da man in Reisebeschreibungen und insbesondere bei Höhlenwanderungen häufig die Länge der Zeit, die man braucht, um eine Strecke zurückzulegen, für die Länge des Weges selbst hält. So sind es ganz ungeheuerliche Uebertreibungen, wenn er z. B. die Länge der Adelsberger Grotte (der heutigen „alten Grotte“) auf 2 gute Meilen angibt (Buch II, Kap. 68) und eines „abstürtzigen Ortes“ in derselben erwähnt, in dem der Schall eines auf dem Boden auf-

schlagenden Steines über 2 Vaterunser benötige, um das Ohr des Werfenden zu treffen (Buch IV, Kap. 8), eine Angabe, auf Grund deren ein Dr. Buck in Königsberg die Tiefe dieses Abgrundes auf 2 Meilen berechnete! Hacquet fand nur eine Tiefe von unge-200 m (Oryctographia Carniolica); Gruber eine Fallzeit von nur 3 Sekunden also 38 m; Schmidl endlich bestimmte die Tiefe auf 20 m. Naturgemäß nehmen in Valvasors Beschreibung die Karsthöhlen den größten Raum ein; aber auch die Dolinen, die „Erdlöcher", wie er sie nennt (Buch IV, Kap. 37), Katabothrenseen (Buch IV, Kap. 52) und unterirdischen Flußläufe (Buch IV, 54) finden eingehende Würdigung. Insbesondere hat er auch schon richtig erkannt, daß Poik, Unz und Laibach identisch seien, eine Ansicht, der noch Hacquet (a. a. O. Bd. I, S. 126—127) nicht beizupflichtau vermag.

Fassen wir noch einmal kurz die Resultate dieser Periode, deren hauptsächlichster Vertreter Valvasor ist, zusammen, so ergibt sich, daß einerseits ihre größte Bedeutung auf deskriptivem Gebiete liegt: daß die älteren montanistischen Autoren der späteren Forschung erfolgreich vorgearbeitet haben, und daß andererseits auf theoretischem Gebiete sich die ersten Ansätze einer auf physikalischen Grundlagen beruhenden Erklärung des Karstphänomens zeigen, daß endlich mit manchem alten Vorurteil aufgeräumt wurde.

III.

Die Karstforschung von Valvasor bis Schmidl.

(1689—1854).

Daß durch die Forschungen und die Aufsehen erregende Publikation Valvasors das Interesse für die Karstforschung mächtig angeregt wurde, kann nicht zweifelhaft sein. Dasselbe scheint indessen nicht nachhaltig gewesen zu sein, denn schon Hacquet klagt, daß die Zeit, in der man sich lebhafter für Höhlen

interessierte, vorüber sei. Die Literatur, die uns aus dem Jahrhundert nach Valvasor vorliegt, ist denn auch spärlich genug.

Daß die topographische Kenntnis des Krainischen Karstgebietes indessen doch Fortschritte gemacht hat, zeigt uns eine aus dem Jahre 1744 stammende Karte von Floriantschitsch (‚Ducatus Carniolae Tabula geographica' etc.), die das Verschwinden und Hervorbrechen der Karstflüsse wesentlich genauer und bestimmter angibt als die früheren. Insbesondere ist richtig verzeichnet der Verlauf der Poik, ihr Hervorbrechen bei Kleinhäusel und ihre Vereinigung mit dem Mühltalwasser bei Hasberg; erst unterhalb des Dorfes Na Lasech führt das Gewässer den Namen Unz. Das einzige Zeichen einer Höhle findet sich auf dieser Karte bei Lueg.

Lebhaftes Interesse an der Höhlenforschung in Krain nahm auch Kaiser Franz I., der Gemahl Maria Theresias. Auf seinen Befehl untersuchte und beschrieb im Jahre 1748 **J. N. Nagel** die oryktographischen Verhältnisse in Krain. Die Resultate seiner Forschungen sind leider nicht im Druck erschienen; doch ist das Manuskript desselben in der k. k. Hofbibliothek in Wien aufbewahrt unter dem Titel: „Beschreibung deren auf Allerhöchsten Befehl Ihro Röm. Kayl. und Königl. Maytt. Franzisci I. untersuchten in dem Hertzogthum Krain befindlichen Seltenheiten der Natur." Eine Inhaltsangabe desselben findet sich in Schmidl's bekanntem Werke: „Die Grotte von Adelsberg, Lueg, Planina und Laas." Neue Entdeckungen und Beobachtungen, die weitergehende Schlüsse hätten ermöglichen können, hat Nagel zwar nicht gemacht, doch zeigen sich seine Beschreibungen, deren Genauigkeit Anerkennung verdient, frei von den Uebertreibungen und Fabeleien früherer Autoren, z. B. Valvasors, gegen den Nagel in seiner Vorrede polemisiert. Besonders wertvoll ist das Manuskript durch die erste Beschreibung der Grotte von Corgnale und durch die beigegebenen 22 Tafeln, von denen allerdings nur wenige wirklichen wissenschaftlichen Wert besitzen. Auffallender Weise gedenkt dieser Forsch-

ungen Nagels keiner der zeitgenössischen oder späteren Schriftsteller; erst Schmidl hat sie wieder der unverdienten Vergessenheit entrissen.

Von den Forschern dieses für die Karstforschung so sterilen Jahrhunderts verdienen nur noch 2 eingehendere Würdigung: Steinberg und Fortis.

Franz Anton v. Steinberg, österreichischer Hofkammer-Rat, beschäftigt sich ausschließlich mit dem Phänomen des Zirknitzer Sees, dessen Monographie er im Jahre 1761 unter dem Titel „Gründliche Nachricht von dem in Inner-Crain liegenden Czirknizer See" (Graz 1761) in Druck erscheinen ließ, nachdem er mit der Abfassung derselben schon seit 1718 beschäftigt, aber an der Veröffentlichung derselben durch verschiedene Umstände behindert war. Die Ueberschwemmungen des Zirknitzer Tales sind nach Steinberg durch die Kesselnatur desselben bedingt; der See sei nichts anderes als „eine Sammlung solches Wassers, welches von den herumliegenden Bergen und Höhen, ober- und unterhalb der Erde, in dieses große und ebene Thal zusammen fliesset und in der tiefsten Gegend des Sees bloß darum stehen bleibt, weil die darin befindliche, unterirdische und von der Natur künstlich gemachte Ablaufs-Höhlen bey weitem nicht hinlänglich sind, das Wasser in der Menge wieder abzuführen, in welcher es zufliesset" (a. a. O; S. 17). Hat so Steinberg die Grundursachen des Zirknitzer Phänomens im allgemeinen richtig erkannt, so weist sein Versuch, die näheren Umstände, unter denen das Austreten des unterirdischen Wassers erfolgt, zu ergründen, mannigfache Irrtümer auf. Die weitaus größte Menge des das Seebecken füllenden Wassers, führt er aus, rühre nicht von den oberirdischen Zuflüssen her, sondern stamme aus den „unterirdischen Klüften, Schlunden und Kessel-förmigen Thälern" im Innern des Berges Iavornik, die ihr überschüssiges Wasser vornehmlich durch Uranja jama und die Sucha dulza entleerten (S. 25). Aeußerst kompliziert denkt sich nun Steinberg die Vorgänge im Innern des Gebirges bei der Füllung und Entleerung der Wasser enthaltenden

Höhlungen. 3 schematische Darstellungen sollen dieselben veranschaulichen. Tritt Regenwetter ein, so verliert sich das „in gewissen Thälern“ des Berges zusammenlaufende Wasser in die Tiefe. Gemeint sind mit diesen „gewissen Thälern“, wie aus der Zeichnung auf Tafel III hervorgeht, augenscheinlich die Dolinen, mit denen ja die Oberfläche des Gebirges wie besät erscheint. Das in die Tiefe sinkende Wasser gelangt alsdann durch „Klüfte und Tiefen“ in unterirdische Höhlungen, von denen Steinberg im Innern des Berges mehrere in unbestimmter Anzahl über einander gelagert sich denkt, während Valvasor (a. a. O; Buch IV, Kap. 53) deren bestimmt 4 angibt. Das in diesen Höhlen sich ansammelnde Wasser gelange „durch unterirdische Meatus, Wassergänge und Siphones“ aus einer Höhle in die andere. Das „mit einer starken Pressung“ in die Heber eingedrungene Wasser falle mit großer Gewalt in die darunter liegende Höhle. Diesen starken Druck übe „die äusserliche Luft“ aus, „die durch das heftige Knallen des Donners in die inwendige Öffnungen dringet“ und den Luftdruck im Innern der Höhlungen verdoppele. Diese stark zusammengepreßte Luft übe nun auf das Wasser einen umso größeren Druck aus, je mehr sich die Höhlungen mit Wasser füllten, „daß also auch notwendig bey den zwey Hölen Uranja jama und Sucha dulza ein erstaunlicher Auswurf des Wassers erfolgen muß“ (S. 30 u. 31). Aber nicht nur durch die beiden genannten Höhlen erhalte der Zirknitzer See sein Wasser, sondern auch durch andere im See befindliche Öffnungen, welche mit unterirdischen Gängen in Verbindung stünden, für gewöhnlich aber als Sauglöcher funktionierten. Sei der Abfluß durch diese Sauglöcher gleich dem oberirdischen Zufluß oder größer als derselbe, so sei es natürlich, daß sich das Wasser des Sees unter die Erde verliere. Wie es aber komme, daß die Sauglöcher zugleich als Speilöcher tätig seien, erklärt sich Steinberg ungefähr folgendermaßen. Er nimmt zwei Höhlensysteme an, die nicht direkt mit einander in Verbindung stehen. Das eine ist das bereits besprochene im Innern des Javornik, das andere befindet

sich unter dem Boden des Sees, mit dem es durch die erwähnten Sauglöcher in Verbindung steht, welch letztere imstande seien, sämtliche Gewässer des Sees durch ihre „Siphones“ abzuleiten. Träten aber durch die nur als Speilöcher funktionierenden Höhlen Uranja jama und Sucha dulza die im Innern des Javornik angesammelten Gewässer zu Tage, so verschwänden diese zwar alsbald wieder durch die Sauglöcher, dadurch aber werde das unter dem Seeboden befindliche Höhlensystem gefüllt und das Wasser desselben nunmehr gezwungen, da der Zufluß den Abfluß überwiege, durch die jetzt als Speilöcher dienenden Öffnungen im Seeboden wieder zu Tage treten (S. 40—44).

Die Hauptirrtümer Steinbergs bestehen darin, daß er einmal den Hebern, die allerdings schon lange vor ihm, wie bei Kircher und Valvasor, und noch lange nach ihm eine wichtige Rolle in der Erklärung des an sich so einfachen Zirknitzer Phänomens gespielt haben, eine so große Bedeutung zumißt; weiter geht Steinberg fehl, wenn er kein einheitliches Höhlensystem, durch das die Speisung des Sees vermittelt wird, anzunehmen vermag. Dagegen hat er mit manchen alten Fabelein gründlich aufgeräumt und insbesondere die Wundermär von der intermittierenden Urbarkeit des Zirknitzer Sees auf ihr gehöriges Maß reduziert.

Viele das Karstphönomen betreffende Angaben finden sich auch eingestreut in dem Reisewerk des venetianischen Abbate **Alberto Fortis:** „Reise in Dalmatien“ (Bern 1776). Aehnlich mystisch veranlagt und ein ebenso unerschrockener Forscher wie Valvasor, hat er uns eine Reihe von Beobachtungen hinterlassen, die zwar vielfache Irrtümer aufweisen, aber dennoch wichtig genug sind, um sich etwas eingehender mit ihnen zu beschäftigen. So ist ihm besonders die häufig auftretende unterirdische Flußzirkulation aufgefallen, und zwar nimmt er, im Gegensatz zu den Resultaten der neueren Forschung, eine Verlegung derselben von der Oberfläche nach der Tiefe an (II. Teil, S. 98), wobei Einstürze eine Rolle spielten, die, wie er sich etwas unklar ausdrückt,

seltener auf Erdbeben und vulkanische Ausbrüche als auf Unterwaschungen durch das Wasser zurückzuführen seien (I. Teil, S. 55). Diese Erklärung bedeutet auch gegenüber Valvasor einen Rückschritt, der, wie wir oben gesehen haben, die Ursache des Verschwindens der Karstflüsse bereits ziemlich richtig erkannt hatte. Auch ein Beispiel der Bildung einer mit Wasser gefüllten Schwemmlanddoline, die in der Wiese Margude vor den Augen des Morlacken Bilonoski sich vollzogen habe, führt Fortis an; die senkrechten Ränder derselben beweisen, daß sie sich kurz vor seinem Besuche gebildet habe (II., S. 108—109). Das Auftreten von Karren, die er als Spülwirkungen des atmosphärischen Wassers erklärt, hat er im Biocovogebirge an der Küste von Primorie festgestellt (II., S. 154). Bei seinen Höhlenwanderungen hat er sich auch mit der Natur der Tropfsteinbildungen befaßt, wobei er bereits den Kanal im Tropfstein nachweist, durch welchen die kalkigen Gewässer niederträufeln (II., S, 94). Etwas eingehender beschreibt Fortis das Polje von Vrgorac mit seinen Speilöchern (den „Schlünden von Coccorich"), von denen er einige untersucht hat; bei starkem Regenwetter im Innern Bosniens spieen dieselben bis 20 Fuß hohe Wassersäulen aus, so daß binnen 14 Tagen das ganze Becken gefüllt sei. Er erwähnt ferner das in Ponoren sich verlierende Flüßchen Trebisat, den See von Jeseru, der ursprünglich ein Katabothrensee gewesen sei, dessen Abzugslöcher aber die Türken verstopft hätten, als sie die Gegend verließen; bei günstiger Witterung trockne der See jedoch auch jetzt noch aus, ebenso wie die kleineren Seen von Rastok und Jeseraz, der fast alle Jahre austrockne (II , S. 199—207). Die Terra rossa endlich scheint Fortis für ein vulkanisches Gebilde zu halten (II., S. 197), wie er auch sonst mehrfach angeblich vulkanische Gebilde in Dalmatien erwähnt.

Waren seit Valvasor in der Erforschung der Karstgegenden und der Ergründung des Wesens des Karstphänomens so geringe Resultate erzielt worden, so sollte nach nahezu 100 Jahren die Karstforschung neuerdings einen bedeutsamen Aufschwung erleben.

Es waren zunächst meliorationstechnische Gründe, die ein genaueres Studium der physikalischen Verhältnisse der Krainischen Karstgebiete erforderlich machten; und zwar wurde diese Seite der Karstforschung gegen das Ende des 18. Jahrhunderts besonders durch Tobias Gruber, den Erbauer des nach ihm genannten Gruberkanals in Laibach, und durch Balthasar Hacquet repräsentiert.

Bei **Tobias Gruber** treten mehr die hydrographischen Verhältnisse in den Vordergrund; seine Ansichten sind niedergelegt in dem von Ignaz von Born herausgegebenen Werke: „Briefe hydrographischen und physikalischen Inhalts aus Krain, Wien 1781." Einen breiten Raum nimmt bei ihm die Erörterung der Theorie des Zirknitzer Phänomens ein. Hier zeigt sich ein ganz gewaltiger Fortschritt gegenüber den älteren Ansichten Kirchers, Valvasors und Steinbergs; bei ihm hören wir nichts mehr von den Siphons und Hebern, die in der älteren Theorie eine so große Rolle spielten; er bemüht sich vielmehr, die Erscheinung, „ohne zu Feinheiten und tiefen Demonstrationen Zuflucht zu nehmen, auf eine ganz einfache Art zu erklären." Die ganze rätselhafte Erscheinung ist nach seiner Meinung „nichts anderes, als eine Ueberschwemmungsart, zu welcher genug ist, wenn in eben der Zeit mehr Wasser heranfließt als abfließen kann. Bey der Wirkung des An- und Abfließens hat die Natur keines einzigen Syphons oder Hebers vonnöthen." Nach seiner Theorie befindet sich unter dem Boden des Zirknitzer Sees und im Innern der diesen umgebenden Gebirge ein ausgedehntes und weitverzweigtes System von zum Teil sehr geräumigen Grotten. Seien nun bei anhaltendem Regenwetter deren Behälter durch das von der Oberfläche aus einsickernde Wasser gefüllt — erleichtert werde dieses Einsickern durch die Nacktheit und Klüftigkeit des anstehenden Kalksteins, sowie durch die „unzählbare Menge geschlossener Thäler, Kessel und Gruben" (Dolinen) auf der Oberfläche des Gebirges — dann strömen eben die überschüssigen Wassermengen nach dem Gesetz der

kommunizierenden Röhren (Tubi communicantes) durch die Speilöcher am Fuße des Gebirges in das Seebecken hinaus. Zu diesen Wasserbehältnissen rechnet Gruber auch die unterirdischen Kanäle, die unter dem Seeboden hinwegstreichen und meist ständiges Wasser mit sich führen, wenn sie auch nicht alle, wie das bei der Unz, Laibach, Bistra und ähnlichen Bächen der Fall sei, wieder zu Tage treten. (8. Brief.) Hier erwähnen wir gleich, daß Gruber den Ursprung der Laibach vom Zirknitzer See herleitet (1. Brief), während die bei Jakobovitz sich in Ponoren verlierende Unz nur ein Zufluß dieses unterirdischen Gewässers sei. Die Spei- und Sauglöcher selbst denkt sich Gruber ebenso wie die eigentlichen Dolinen als durch Einsturz entstanden: „Felseneinsturz, welcher blos in die Tiefe gehet, läßt sich nicht anders erklären als durch Sprengung der Decke unterirdischer Grotten, aus was immer für einer Ursache dieselbe veranlaßt werden mag.“ Eine so gewaltige Steinmasse, wie sie zur Ausfüllung mancher Dolinen nötig gewesen sei, habe eben unmöglich in die Tiefe sinken können, wenn nicht unten ein ebenso großer Hohlraum vorhanden gewesen wäre, welcher dieselbe hätte aufnehmen können (8. Brief). Es ist dies dasselbe Argument, das später Tietze und Kraus gegen die Ansichten der Erosionstheoretiker ins Feld führten. Was die Periodizität des Zirknitzer Sees anlangt, so entkleidete auch hierin Gruber, wie ja auch schon vor ihm Steinberg, den See alles Wunderbaren: Das An- und Ablaufen der Gewässer sei nicht von einer bestimmten Jahreszeit abhängig, sondern stehe einzig und allein mit den Niederschlagsverhältnissen in einem ursächlichen Zusammenhang. Bisweilen käme es auch vor, daß der See in einem Jahre gar nicht ablaufe; so sei derselbe in den Jahren 1707—1714, also durch ganze sieben Jahre permanent gewesen. Da auch Steinberg dieselbe Angabe machte, so dürfte die Bemerkung von Urbas, daß der See von 1714 an durch volle 7 Jahre nicht abgelaufen sei, auf einem Irrtum beruhen (Urbas, das Phänomen des Zirknitzer Sees, Zeitschr. d. d. u. österr. A. V., 1879, S. 30). Das

ganze Rätsel von der jedes Jahr regelmäßig wiederkehrenden Anbaufähigkeit des Seebodens habe seinen Ursprung nur „in einem gewagten und von ungefähr glücklichen Ackerbau." Auch bezüglich der Entstehung der Tropfsteingebilde stellt Gruber eine ausführliche den tatsächlichen Verhältnissen entsprechende Theorie auf. Insbesondere gibt er die Entstehungsursache des in den Stalaktiten befindlichen Röhrchens richtig an und weist die Ansicht zurück, nach welcher von der Decke herabhängende „Halme und Stengel von Vegetabilien durch die Kalkmaterie inkrustiert werden, mit der Zeit aber inwendig verfaulen, und nachdem die morschen Theilchen durch das Wasser heraugespühlet worden, endlich die hohle Inkrustation als ihren vorherigen Ueberzug zurücklassen." Auch daß die ursprünglich konzentrisch gebauten Stalaktiten mit der Zeit großkristallinisch werden, wurde bereits von Gruber beobachtet. Was das Wachstum der Tropfsteingebilde anlangt, so wendet er sich gegen die Auffassung einer allzuraschen Bildung derselben. Ein rasches Wachstum derselben müßte notwendiger Weise schon längst ein völliges Vertropfen der Höhlungen herbeigeführt haben. Ein derartiges „Vertropfen" der Höhlen scheint Gruber auch als das Ende des Höhlenbildungsprozesses anzunehmen; wie er sich diesen selbst denkt, geht aus seinen Ausführungen nicht hervor.

Nicht minder bedeutungsvoll als Gruber ist für die Karstforschung dessen Zeitgenosse **Balthasar Hacquet** geworden, dessen Forschungsresultate in seinem vierbändigen Werke: „Oryctographia Carniolica, oder physikalische Erdbeschreibung des Herzogthums Krain, Leipzig 1778—89" enthalten sind. Seine Auffassung vom Dolinenphänomen ist eine wesentlich andere als diejenige Grubers. Ist dieser ein entschiedener Vertreter der Einsturztheorie — wir können ihn als den wissenschaftlichen Begründer derselben bezeichnen — so sehen wir in jenem den Vorläufer der modernen Erosionstheorie. Es tritt uns also gleich bei Beginn einer intensiveren wissenschaftlichen Karstforschung jener in der Einleitung

erwähnte Gegensatz der beiden Hauptrichtungen entgegen, der sich, stets schroffer werdend, durch die ganze Entwicklungsgeschichte der Lösung des Karstproblems hindurch ziehen sollte.

Hacquet fiel besonders die große Zerklüftung und Verwitterung des Kalksteines auf (Bd. I, S. 4, 5 u. 6), und dieser Umstand lieferte ihm den Schlüssel zur Lösung des Dolinenphänomens. Alle die charakteristischen Oberflächenformen der Kalkgebirge, von den kleinsten Formen bis zu den größten, seien im letzten Grunde auf die starke Verwitterung zurückzuführen. Er selbst sagt im 1. Teile seines Werkes hierüber folgendes: „Die starke Verwitterung, welcher diese Kalkberge unterworfen sind, macht, daß die Wässer sehr tiefe Furchen darin schneiden, und dann sowohl auf den Anhöhen, als am Fuße der Gebürge geschlossene Thäler machen, die man nicht leicht in andern Ländern so groß finden wird“ (S. 6). Die Ansicht Scheuchzers, derartige geschlossene Täler rührten von Einstürzen her, weist Hacquet entschieden zurück. (I; S. 7.) Wie erwähnt ist Hacquet als Vorläufer der modernen Erosionstheorie zu betrachten; und zwar hält er die chemische Verwitterung (Korrosion) für den primären, die mechanische Fortführung durch das Wasser (Erosion) für den sekundären Vorgang. Die Ursachen der raschen Verwitterung des Kalksteines selbst sieht Hacquet in dem „vielfältigen Eisenwesen“, das im Kalkstein stecke. Dieses „vielfältige Eisenwesen“, das er auch sonst mehrfach erwähnt, ist nichts anderes als die Terra rossa, die er als den Rückstand des reinen, mineralischen Säuren ausgesetzten Kalksteins erkennt (I; S. 65). Auch das Problem des Zirknitzer Sees sucht Hacquet auf einfache und natürliche Weise zu lösen. Hiebei sind nach seiner Ansicht drei Punkte besonders zu beachten: 1.) die Kesselnatur des Zirknitzer Tales; 2.) die den Zirknitzer See umgebenden Berge bestehen aus reinem Kalk und sind von beträchtlicher Höhe; 3.) der zur Gebirgsumrandung des Sees gehörige Javornik besteht auf seiner Oberfläche aus zerklüftetem, reinem Kalkstein, der alles atmosphärische Wasser

rasch einsaugt: „Dieser Berg sowohl als die übrigen in ganz Inner-Krain sind mit einer Menge Grotten oder natürlicher Höhlen angefüllt, daß man sagen kann, ein solches Gebirge stelle ein ganz zelligtes Wesen vor, welches einem Schwamme zu vergleichen ist.“ Aus den angeführten Tatsachen zieht Hacquet den Schluß, daß die Berge um den Zirknitzer See große Wasserbehälter in ihrem Innern bergen müßten, die erst nach anhaltendem Regenwetter sich zu füllen vermöchten. Trete dieser Zustand ein, so üben die bedeutend höher als die Speilöcher gelegenen Wassermassen einen derartigen Druck aus, daß das Wasser aus den Speilöchern herausquelle und springe (I, S. 129—139). Hacquet hofft mit dieser Erklärung „das übertriebene Wunderwerk unseres Sees ohne alle Schwülstigkeit einer gekünstelten Theorie klar und deutlich dargethan zu haben.“ Das eine aber ist sicher, daß er der Lösung des Zirknitzer Problems ziemlich nahe gekommen ist, wenn er auch die Gründe, die das unterirdische Wasser zur Stauung und dadurch zum Austritt durch die Speilöcher nötigten, nicht ganz klar erkannt hat. Aber nicht nur als Theoretiker hat Hacquet der Karstforschung wertvolle Dienste geleistet, sondern er hat auch durch seine unermüdlichen Forschungsreisen und Höhlenwanderungen die topographischen Kenntnisse der Karstgebiete wesentlich bereichert. So schildert er uns besonders anschaulich die Dolinenlandschaften des Karstes und berücksichtigt auch die morphologische Seite dieser Erscheinungen; bald seien die Dolinen oval, bald besäßen sie irgend eine andere Gestalt (I; S. 65). Bei ihm hören wir also noch nichts von der „regelmäßig kreisrunden Form der Dolinen“ der späteren Zeiten. Hacquet erwähnt und beschreibt auch verschiedene Kesseltäler oder Poljen (I; S. 5, 6, 68, 149). In letzterem Falle ist er der Ansicht, daß das Kesseltal einst lange Zeit hindurch unter Süßwasser gestanden sei und daß sich dieses erst nach der Hand einen Weg in die unterirdischen Höhlungen gebahnt habe. Wir hätten hier also wieder einen, wenn auch schwachen Anklang an die v. Mojsisovicssche Theorie

von der „Störung der begonnenen Talbildung durch Gebirgsfaltung“ als Grundursache des Karstphänomens. Ob Hacquet auch die kleinste Form der Oberflächenerscheinungen des Karstes, die Karren, bereits gekannt hat, ist zweifelhaft. Doch ließe sich eine Stelle in seinem Werke vielleicht als auf Karren bezüglich deuten. Er erwähnt hier den Kalkstein „in einer anderen Gestalt, nämlich in etwas gebogenen Schichten, wo er durch die Auswitterung sich wie ausgehobelte Rinnen darstellt.“ (I; S. 27). Hacquet erzählt uns ferner von den Katabothrenseen, wobei er uns sogar ein Beispiel der Umwandlung eines solchen Sees in einen See mit oberirdischem Abschluß anzuführen vermag: es ist dies der Cepicsee in Istrien, der früher sein Wasser durch Sauglöcher, zu seiner Zeit aber durch einen kleinen Fluß in's Meer abgab (I: S. 53). Allerdings steht diese Angabe im Widerspruch mit einer Bemerkung von Franz Kraus, der diese Umwandlung erst in das Jahr 1830 verlegt (Höhlenk., S. 149). Demnach wäre, wenn beide Angaben auf Tatsachen beruhen, nach einer zeitweiligen Benutzbarkeit der Katabothren eine neuerliche Verlegung derselben erfolgt und dadurch das überschüssige Wasser wiederum gezwungen worden, sich einen oberirdischen Abzugskanal ins Meer zu bahnen. Besonders ausführlich aber beschreibt uns Hacquet die Gebilde der Tiefenerosion, der unterirdischen Höhlen und Grotten, z. B. der Adelsberger Grotte, wobei er sich jedoch von den ungeheuerlichen Uebertreibungen Valvasors freizuhalten und die richtigen Maßverhältnisse ziemlich genau anzugeben weiß; ferner werden geschildert die Magdalenengrotte, die Grotte von Loitsch und viele andere. Selbst eine Eishöhle fand Hacquet bei Lazhnagora. Woher diese Eiskristallisationen in der Höhle kämen, konnte er sich jedoch nicht enträtseln. Vielleicht, meint er, sei die Eisbildung dadurch hervorgerufen worden, daß „das Wasser mit etwas salzigen Theilen geschwängert sei.“ (III. Buch. S. 158—159.)

Nach den so ergebnisreichen Untersuchungen Grubers und Hacquets ist abermals ein Stillstand, ja sogar ein Rückschritt in der Karstforschung eingetreten. Es scheint auch, daß die Ansichten dieser beiden Forscher nicht in weitere Kreise gedrungen sind. Denn die Höhlentheorien der nächsten Zeit weisen keine Beeinflußung durch die Forschungsresultate derselben Zeit auf. Auf einem noch ziemlich veralteten Standpunkt stehen z. B. die Ansichten J. Kants („Physische Geographie" herausgegeben von seinem Schüler Rink, 1802) und die durch plutonistische Anschauungen beeinflußten Rosenmüller u. Tillesius (Beschreibung merkwürdiger Höhlen u. s. w. Leipzig 1805); ja ein Dr. G. A. Goldfuß (die Umgebung von Muggendorf 1810) hält es, wie der alte Schönleben, nicht für unmöglich, daß sich Höhlen durch Zusammenstürzen zweier Berge und Ueberwölbung des dazwischen gelegenen Tales bilden können! Ein Aufsatz in Gilberts Annalen der Physik, Leipzig 1814 (Entdeckung natürlicher Schächte oder Röhren, welche die Kalksteinbänke des Petersberges bei Maestrich durchsetzen, von Mathieu, Artillerie-Hauptmann; und über den Ursprung derselbe, von Gillet-Laumont, Gen. Insp. d. Bergw. S. 402—411) nimmt dagegen für die Entstehung der geologischen Orgeln (der Name stammt von Mathieu) bei Maestricht, der puits naturels des Pariser Grobkalkes, sowie der Dolinen des Karstes und der Katabothren des Zirknitzer Sees übereinstimmend die gleiche Ursache an, nämlich durch Infiltration von Wasser oder durch Ausspülung. Ausdrücklich wird hiebei die Möglichkeit einer Entstehung durch Einsturz von der Hand gewiesen, da sich in der Gesteinsschichtung der nächsten Umgebung keinerlei Unordnung oder Unregelmäßigkeit finde. (S. 408).

Wie grundverkehrte Ansichten noch im ersten Viertel des 19. Jahrhunderts laut werden konnten, geht aus einem Bericht des prov. Baudirektors de Romano vom 24. Nov. 1823 hervor, den derselbe über das Schallphänomen auf der Insel Meleda, das in den Jahren 1822—1826 die Bevölkerung in Unruhe versetzte, an das Gubernium in Dalmatien einsandte.

Diesen Bericht unterzieht Paul Partsch in seiner Monographie: „Bericht über das Detonationsphänomen auf der Insel Meleda bei Ragusa, Wien 1826“ einer kritischen Beleuchtung. Daraus geht hervor, daß Herr de Romano die im Kalkstein von Meleda häufig vorkommenden Dolinen und mithin auch die von ganz Dalmatien, sowie die Höhlen im Karstgebiete für Produkte des unterirdischen Feuers, für vulkanischer Natur hält: er selbst will bei der Untersuchung dieser Gebilde an mehreren Stellen vulkanische Gesteine gefunden haben. Dementsprechend benennt er auch die Dolinen als Krater und die Höhlen als vulkanische Grotten, d. h. solche die sich unter Vulkanen befinden (a. a. O. S. 109 bis 113). Diese Annahme weist Partsch entschieden zurück und betont ausdrücklich, daß sich auf Meleda, wie in ganz Dalmatien, keine Spur vulkanischen Gesteines findet.

Damit aber waren die Versuche, das Karstphänomen als Äußerung plutonischer Kräfte zu erklären, noch lange nicht abgetan. Diese Versuche verdichteten sich vielmehr zu einer wissenschaftlich begründeten Theorie, die zunächst bei den Franzosen ausgebaut wurde, dann aber auch bei österreichischen Geologen, wenn auch in modifizierter Form, in Aufnahme kam und einige Zeit im Vordergrunde stand.

In Frankreich beschäftigen sich die Geologen schon seit Cuvier in intensiver Weise mit der Höhlenforschung und zwar vornehmlich von paläologischem und anthropologischem Standpunkte aus. Mit der Genesis der Höhlen hat sich unter andern besonders **Theod. Virlet** beschäftigt. Derselbe kommt (Des Cavernes, de leur origine et de leur mode de formation, Avesnes 1836. p. 15) zu folgenden Schlüssen und Gesetzen:

„1. Die Grundursachen der Existenz der Höhlen sind die Dislokationen und successiven Erschütterungen der festen Erdrinde.

2. Es müssen sich Höhlen in verschiedenen Epochen gebildet haben, da es auch Hebungen in allen geologischen Epochen gegeben hat.

3. Es gibt Höhlen, welche unmittelbar aus den Brüchen des Bodens entstehen.

4. Es gibt Höhlen, deren Erweiterung aus der Kombination von Bruchspalten und Gasemanationen resultiert, oder mit dem Durchgange von Thermal- oder Mineralwässern -- wie jenen von Sillaka auf der Insel Thermia, die in altem Schieferfelsgesteine ausgehöhlt sind und jenen die entstünden, wenn die Thermalwässer dieser Insel, die in derselben Formation entspringen, versiegen, oder wenn die Gaseruptionen des Isthmus von Korinth aufhören würden.

5. Die Erweiterung vieler Kalkhöhlen ist nur der Erosion gewöhnlichen Wassers zuzuschreiben, welches sandige Depôts zurückgelassen hat, die man dort häufig trifft.

6. Es gibt Höhlen, welche ohne Beihilfe einer dieser umbildenden Kräfte durch Einbrüche in Hohlräume entstanden sind. Wenn diese Einstürze sich bis zur Oberfläche des Bodens fortgepflanzt haben, so rufen sie eine Art Einsturztrichter (cirques d'enfoncement) hervor.

7. Es gibt Höhlen, welche durch einfache Erosion entstanden sind, wie jene, welche am Meeresufer durch den fortwährenden Wellenschlag ausgehöhlt wurden. Derartige Höhlen gibt es in Morea in verschiedenen Höhenlagen (étages), welche auf ebensoviele alte Strandlinien hinweisen.

8. Schließlich ist die Gegenwart von Stalaktiten und Stalagmiten in größeren Höhlen ein sicheres Zeichen, daß ihre Entstehungsursache mit Erdbewegungen zusammenhängt."

Die Grundursachen des Karstphänomens sind demnach plutonische Vorgänge, während die sichtbare Aeußerung des Karstprozesses, die Dolinenbildung, nur sekundäre Begleiterscheinungen darstellen.

Auch in Oesterreich machen sich bald, wahrscheinlich beeinflußt durch die Virlet'sche Theorie, Bestrebungen geltend, die Karsterscheinungen als Wirkungen des Vulkanismus zu deuten. Der hauptsächlichste Vertreter dieser Richtung ist **H. von Gansauge** (Einige Bemerkungen über die physische

Beschaffenheit der Provinz Krain; Poggendorfs Annalen, 1840, Nr. 10). Wie jedem Reisenden in den Karstgebieten Krains fiel auch ihm die durchgreifende Zertrümmerung des Gesteins auf, durch welche die auffallende Unfruchtbarkeit des Gebirges bedingt werde. „Plutonische Kräfte," so führt v. Gansauge aus, „haben hier gewaltig gewirkt und sowohl chemische Umwandlungen des Gesteins selbst hervorgebracht, als auch das Gebirge in der Art gehoben und aufgetrieben, daß in seinem Innern viele, zuweilen sehr ausgedehnte hohle Räume entstanden. Den nur so dürfte die Höhlenbildung, durch welche die illyrischen und dalmatischen Küstengebirge charakterisiert sind, genügend erklärt werden." Zugleich mit dieser Höhlenbildung und Gebirgserhebung wäre nach seiner Ansicht auch die durchgreifende Zerrüttung des Gebietes Hand in Hand gegangen (S. 292) Wie v. Gansauge sich diesen Vorgang denkt, geht aus einer anderen Stelle hervor (S. 297—99). Er befaßt sich zunächst mit der Morphologie „der kessel- oder trichterförmigen Vertiefungen", der Dolinen, von denen die Oberfläche des dalmatinischen und illyrischen Küstengebirges bis nach Kärnthen, Steiermark und Kroatien großenteils durchlöchert sei. In der Regel seien sie von nur geringer Größe, im ungefähren Durchschnitt von 15—50 Schritten. Dieselben seien regelmäßig kreisrund und der Rand stets gleichweit vom Mittelpunkt entfernt, Angaben, die den tatsächlichen Verhältnissen nur ausnahmsweise entsprechen. Von diesem Mittelpunkte nun scheinen die Spaltung und das Sinken ausgegangen zu sein; denn dort sehe man die von den Seitenwänden losgesprengten Felstrümmer über einander getürmt, oder es führen in anderen Fällen Klüfte zu unterirdischen Hohlräumen, deren Umfang und Sohle nicht zu ermessen seien. Es kämen zwar auch größere Trichtervertiefungen vor mit einer Viertelstunde und mehr im Durchmesser, wie z. B. die Einsenkung von Idria, wobei die Regelmäßigkeit der kreisrunden Form nicht mehr so streng gewahrt bleibe; dies seien jedoch nur Ausnahmen. Nachdem er so die Morphologie der Dolinen eingehend gewür-

digt hat, fährt er fort: „Die gesamte merkwürdige Erscheinung mit Sicherheit zu erklären, dürfte schwer möglich seyn, verschaffte uns nicht eine verhältnißmäßig sehr neue Begebenheit den Schlüssel dazu. Ich meine das lang andauernde Erdbeben in Calabrien i. J. 1783. Unter den vielfachen Veränderungen, welche die Oberfläche der betroffenen Provinz erlitt, zeichnen sich häufig wiederkehrende Risse aus, die sternförmig von einem Punkte aus nach allen Seiten hin den Boden mit vieler Gleichförmigkeit spalteten. In anderen Fällen waren die geborstenen Mitteltheile solcher Risse eingesunken, und dann den kreisrunden Trichteröffnungen auf dem Karste auffallend gleichend.“ v. Gansauge vermutet nun, daß für beide Erscheinungen bei der Uebereinstimmung der äußeren Form auch die gleiche Entstehungsursache anzunehmen sei. — Einige Aufmerksamkeit wendet Gansauge auch den hydrographischen Verhältnissen des Karstes zu (S. 294 bis 296): „Da das Kalkgestein meistens durch Porosität ausgezeichnet und die Oberfläche des Gebirges vielfach zerrrissen ist, so ergiebt sich aus diesen Umständen die Veranlassung einer so schnellen Filtration aller Flüssigkeiten nach den innern hohlen Räumen. Unter den bezeichneten Umständen finden wir die Oberfläche des Gebirges wasser- und in Folge dessen auch pflanzenarm, während die Wasseransammlungen in's Innere dieses anormalen Alpenstockes verlegt erscheinen. In der That stoßen wir hier auf ein vollständig subteranes Bewässerungssystem, das sich auf der Oberfläche nur hin und wieder, um schnell wieder zu verschwinden, nur bruchstückweise sehen läßt, während die wichtigeren Abflüsse solcher subterranen Wasseransammlungen an den Seiten der Julischen Alpen, meist an tiefer liegenden Stellen, oft mit den überraschendsten Erscheinungen vergesellschaftet, hervorbrechen, um sich entweder westlich in das adriatische Meer zu ergießen, oder östlich dem mächtigen Donaugebiete zuzueilen.“ Gansauge gelangt auch zu der später von Tietze erwiesenen Annahme, daß manche der in das Innere verschwundenen Gewässer der Julischen Alpen überhaupt nicht mehr zu Tage treten,

sondern sich submarin in das Adriatische Meer ergießen. Bezüglich des Zirknitzer Phänomens stellt Gansauge folgende Hypothese auf: Die Ueberschwemmung des ringsumschlossenen Tales sei an keine Periodizität gebunden, sondern hänge lediglich, wie dies von Partsch auch auf Meleda und ebenso am sogenannten Bauerngraben am Südfuße des Harzes beobachtet worden sei, von den Witterungsverhältnissen ab, weshalb auch das Phänomen in niederschlagsreicheren Zeiten häufiger auftrete. Unter dem Boden des Zirknitzer Tales sei ein weitverzweigtes, bei Zirknitz in ziemliche Tiefe sich erstreckendes Höhlensystem, so daß stets große Wassermassen in demselben vorhanden seien. Die obere Decke dieses Höhlensystems, eben der Boden des Zirknitzer Sees, sei von vielen, kleinen trichterförmigen Senkungen durchbrochen. Steige nun jener subterrane See infolge stärkerer Zuflüsse, so trete er schließlich durch die genannten Öffnungen zu Tage und bilde auf diese Weise den Zirknitzer See, so daß zu solcher Zeit zwei Seen übereinander beständen, ein ober und ein unterirdischer See, beide getrennt durch einen durchlöcherten, siebähnlichen Boden (S. 297—300).

Wenige Jahre nach v. Gansauge untersuchte **A. v. Morlot** auf Veranlassung des „geognostisch montanistischen Vereins für Innerösterreich, das Land ob der Enns und das Königreich Illyrien" die Provinz Istrien. Auch er gelangte zu einer plutonistischen Auffassung des Phänomens und schließt sich an die von Virlet vertretene französische Schule an, weicht indessen in wesentlichen Punkten von Gansauge ab, dem gegenüber sich seine Untersuchungen (Ueber die geologischen Verhältnisse von Istrien. Haidingers naturwissenschaftl. Abhandlungen, 1848) als bedeutsamen Fortschritt charakterisieren. Die Höhlen, unter welcher Bezeichnung er alle Karsterscheinungen zusammenfaßt, liefen teils in einer mehr horizontalen Ebene schlauchartig und sich weitverzweigend und unregelmäßig windend meilenweit fort, teils zögen sie sich, und das sei die überwiegende Mehrzahl, als kraterartig engere oder weitere Löcher,

Spalten und Trichter mit einem Durchmesser von einer Klafter bis zu einer Viertelstunde in meist senkrechter Richtung in die Tiefe. Erwäge man nun die eigentümliche Form dieser senkrechten, dazu oft noch sackförmigen Schläuche, wie sie die Trebicgrotte, die einer eingehenden Schilderung gewürdigt wird, besitze (S. 291—292), so ergebe sich, daß diese Erscheinungen nicht ausschließlich mechanischen Wirkungen zuzuschreiben seien, sondern daß chemische Prozesse, wie sie die Bohnerzbildung bedingt hätten, als Ursache derselben anzusehen seien. Da v. Morlot eine Ähnlichkeit zwischen diesen Karsterscheinungen und den mit Bohnerz ausgefüllten Räumen herauszufinden glaubte, so kam er auf die Vermutung, „daß diese Höhlen ebenfalls durch wahrscheinlich saure, den Kalk anfressende Mineralwassereruptionen gebildet worden seyen, wie es Gressly für den Schweizer Jura nachweist (Observations géologiques sur le Jura soleurois. Mém. de la soc. hélvétique des sciences nat., 1837, 1840, 1841), und daß sie früher auch mit Bohnerz und Bolus ausgefüllt waren, wenn sie vielleicht nicht von Anfang an leer blieben und das Bohnerz nur sporadisch, hie und da von den so allgemeinen wässerigen Eruptionen mit heraufgebracht wurde.“ Die Terra rossa, deren ausschließliches Gebundensein an den Kalk und vergesellschaftetes Auftreten mit den Bohnerzen v. Morlot des öfteren erwähnt, wäre ein wirkliches Ueberbleibsel, eine letzte Spur jener allgemeinen Mineralquellenergüsse oder der späteren Auswaschung des durch sie abgelagerten Bohnerzes und Tones (S. 293). Diese mit dem Vulkanismus in Zusammenhang zu bringenden Eruptionen hätten gegen das Ende der Eocänperiode stattgefunden, als die Kalkalpen emporgehoben worden seien, indem in den Karstregionen eine Menge von Eisen und Ton führenden Säuerlingen den durch die heftigen Erdbeben zerzerklüfteten Kalk durchbrachen und in den von ihnen ausgefressenen Höhlungen das Bohnerz ablagerten (S. 303 und 304). Dies letztere sei wahrscheinlich in dem durch kühles und feuchtes Klima ausgezeichneten erratischen Diluvium ausgewaschen und so das

Material zur Terra rossa geliefert worden (S. 305). Die Oberflächenerscheinung der Dolinen endlich ist nach Morlot durch das Nachstürzen des überlagernden, kurzklüftigen Gesteines und dessen mechanisches Wegführen erweitert und ihre ursprüngliche Form modifiziert worden, bis schließlich durch den Einsturz ihrer Gewölbedecken die für die Karstphysiognomie so charakteristischen Dolinen entstanden. — Inwieweit v. Morlot in seinen Anschauungen von Virlet beeinflußt ist, ist nicht ersichtlich, da er sich in seiner Publikation nur auf Alexander Brogniart, Necker de Saussure, Gressly und den Begründer des Plutonismus Leopold von Buch beruft.

Ueberblicken wir nochmals kurz diese lange Periode der Karstforschung, die die Zeit von Valvasor bis Schmidl umfaßt, so ergibt sich, daß nach einem Jahrhundert sehr geringer Forschungsresultate die Erkenntnis vom wahren Wesen des Karstphänomens nur allmählich sich Bahn zu brechen vermochte; daß nach den in vielen Beziehungen so erfolgreichen Untersuchungen von Gruber und Hacquet abermals eine Stagnation eintrat; daß aber bald, angeregt durch die damals sich gerade entwickelnde plutonistische Schule, sich Bestrebungen geltend machten, die Karsterscheinungen als Wirkungen des Vulkanismus, insbesondere die unterirdischen Höhlen und Grotten als bei der Emporfaltung der Kalkgebirge entstandene Blasenräume darzustellen, daß endlich bezüglich der Dolinen während der ganzen Periode im allgemeinen die Neigung vorherrscht, dieselben für eine Einsturzerscheinung anzusprechen, eine Theorie, die im Verlaufe der folgenden Periode zur Alleinherrschaft gelangen sollte.

IV.

Intensive Aufnahme der Karstforschung. Herrschaft der Einsturztheorie.

Einen gewaltigen Aufschwung nahm die Karstforschung durch die Untersuchungen **Adolf Schmidls** in den Jahren 1850—53 (Die Grotten u. Höhlen

von Adelsberg, Lueg, Planina und Laas, Wien 1854). Durch dieselben wurde nicht nur die Kenntnis des klassischen Krainischen Karstgebietes enorm erweitert, war doch seit Valvasors Zeiten in dieser Richtung kein großer Fortschritt mehr erzielt worden, sondern es wurden auch auf theoretischem Gebiete die glänzendsten Erfolge gezeitigt. Schmidl ist der wissenschaftliche Begründer der Einsturztheorie, die auf Jahrzehnte hinaus das Feld behaupten sollte. Er sucht als erster die Erscheinungen im Karstgebiete in ein System zu bringen und teilt demnach die Elemente des Karstphänomens, die er insgesamt als „Karsthöhlen" bezeichnet, nach der Richtung ihres Verlaufes in drei Klassen ein, nämlich:

1.) in vertikale Abgründe,
2.) in horizontal verlaufende Höhlungen,
3.) in Gebilde, welche aus beiden Richtungen zusammengesetzt sind, indem am Boden eines vertikalen Abgrundes ein Gang sich horizontal einwärts zieht.

Bei der ersten Klasse unterscheidet Schmidl wieder zwei Arten: die Trichter und schachtartigen Abgründe; erstere sind die Felsendolinen, letztere die Naturschachte der von uns in der Einleitung angenommenen Nomenklatur. Die Trichter stellen die weitaus größere Anzahl dieser Gebilde. Von dem Grunde und den Wänden derselben führen Risse, Spalten und Ritzen in die Tiefe und kommunizieren stets, wenn auch nicht immer direkt, mit den unterirdischen Wasserbehältern, denen sie, als Sauglöcher funktionierend, die subaërischen Gewässer zuführen. Ohne diese Spalten würden die Trichter (Schmidl nennt sie auch bisweilen Dolinen), wie auch sonst in den Kalkalpen, kleine Seen bilden. Häufig sei der Grund mit einer Schicht Dammerde ausgefüllt, die bisweilen auch die Seitenwände bis in ziemliche Höhe auskleide. Als Entstehungsursache gibt Schmidl Einstürze an: „Man kann nicht wohl anders als diese Dolinen als das Resultat vorgekommener Einstürze anzusehen." Den Beweis für diese Annahme lieferten die Felsblöcke und der Schutt, die so häufig am

Grunde der Dolinen sich fänden. Selbst wenn der Boden mit Damm- oder Lehmerde bedeckt sei, fände sich unter derselben eine mehr oder weniger mächtige Schicht davon. Gewaltsame Ereignisse innerhalb der Höhlen, Einstürze und dgl. müßten auch an der Oberfläche korrespondierende Erscheinungen veranlaßt haben. Der Bergpraktikant Rudolf, der ihm zu markscheiderischen Aufnahmen beigegeben war, habe nach der Aufnahme des westlichen Armes der Planinahöhle auch über Tags die korrespondierenden Züge gemacht, und dabei habe sich herausgestellt, daß sich über Einstürzen in der Höhle Dolinen befänden, an denen die Merkmale, daß sie sich durch Einsturz gebildet hätten, unzweifelhaft gewesen seien. Sei erst einmal der unterirdische Verlauf mehrerer Höhlen auch über Tags ausgesteckt, dann würde auch das Verhältnis der Oberfläche zur Höhlenbildung klar werden (S. 151, 191—193).

Die Poljen, Mulden wie er sie nennt, sind nach seiner Ansicht nur eine Facies der Trichter (Felsendolinen) „nur von großer Ausdehnung bei verhältnismäßig geringer Tiefe".

Eine andere Abart der vertikalen Abgründe sind die schachtartigen Abgründe (Supan: Naturschachte, im Slovenischen: Jama). Bei einem Durchmesser von wenigen Fuß bis zu 50 Klaftern und darüber besäßen sie meist auf allen Seiten schroffe Felswände; am Boden seien sie oft von Trümmerhaufen bedeckt. Häufig kämen sie auf verhältnismäßig kleinem Raume in sehr großer Anzahl vor, so daß die trennenden Zwischenwände naturgemäß oft von geringer Mächtigkeit sein müßten. In vielen Fällen stürzten diese Schachte infolge von Erdbeben oder anderen Ursachen ein, und es seien dann mehrere Dolinen von einem gemeinsamen höheren Rande umschlossen. Eine besonders merkwürdige Klasse dieser Schachte bildeten diejenigen, durch welche man zu einem unterirdischen Flusse hinabgelange. Schmidl waren von dieser Art nur 6 Beispiele bekannt. Eigentliche Katabothren, „Schachte, in welche sich ein strömendes Gewässer plötzlich hinabstürzt", seien diese Gebilde jedoch nicht;

denn die Karstflüsse, wie die Reka, die Poik und andere verlören sich teils unmerklich, teils mit weniger oder mehr Fall in den Mündungen der sie aufnehmenden horizontalen Höhlen. Im Kleinen aber böten allerdings die Sauglöcher der Flußbette dergleichen Erscheinungen dar.

Bei der zweiten Klasse der Karsthöhlen: den horizontal verlaufenden Höhlungen unterscheidet Schmidl zwischen Grotten, das sind trockene horizontale Gänge, und zwischen Höhlen, den Kanälen der unterirdischen Flüsse.

Die Grotten sind durch ihren Reichtum an Tropfsteingebilden ausgezeichnet, sowohl an Stalaktiten wie an Stalagmiten, welche letztere den Höhlen, die der fließenden Gewässer wegen überhaupt arm an Tropfsteinbildungen seien, fast gänzlich fehlten. Die Grotten nun stellt sich Schmidl als die verlassenen Bette unterirdischer Flüsse vor, die ihrerseits ihr Rinnsal gegenwärtig tiefer eingegraben hätten; ihre Vergangenheit hält er für abgeschlossen; dagegen drohe ihnen die Gefahr „vertropft" d. h. durch Sintermassen geschlossen zu werden.

Die Höhlen sind, wie erwähnt, die verlassenen Kanäle alter Flußläufe. Dieselben bilden nicht immer zusammenhängende Gänge, sondern bestehen aus einem System längerer oder kürzerer Kammern, die von einander durch mehr oder weniger mächtige Zwischenwände geschieden seien, welche fast bis zum Boden herabreichen, von dem sie nur wenige Fuß, oft nur einige Zoll abstehen. Bei Hochwasser wirkten diese Kammern wie kommunizierende Gefäße und es hänge ganz von der Mächtigkeit der Zwischenwände ab, wie lange dieser Zustand andauere. Seien dieselben schwächer, so vermöchten sie dem enormen Seitendruck der aufgestauten Gewässer nicht zu widerstehen, sie stürzen ein, und auf diese Weise entstünden die Risse und manche der Trümmerberge, die sich häufig in den Höhlen fänden. Doch seien nicht alle Trümmerberge, durch derlei Phänomene enstanden; viele, wie der Kalvarienberg in der Adelsberger Grotte und der Golgatha in der Planinahöhle seien auch durch

Einbrüche der Deckengewölbe entstanden, und zwar seien dieselben nicht durch die erodierende Kraft des Wassers hervorgerufen worden, sondern sie seien eine Folgeerscheinung der Erdbeben, von denen Krain so häufig heimgesucht sei. In dieser Ansicht mag Schmidl bestärkt worden sein durch eine Reihe von Mitteilungen über Einstürze, sowie Schall- und Detonationsphänomene, die nachweislich mit solchen in Verbindung standen. Daß man das Detonationsphänomen auf der Insel Meleda als von Einstürzen herrührend aufgefaßt hat, ist schon erwähnt; ein ähnlicher Fall wurde vom Kreishauptmann von Ragusa, Freiherr von Waidmannsdorf aus Galizien berichtet (Partsch, a. a. O. S. 140, 141); ein merkwürdiger mit Getöse verbundener Erdfall wurde von Abich in Südrußland untersucht und beschrieben („Ueber einen in der Nähe von Tula stattgefundenen Erdfall, Mélanges physiques et chimiques, 1854., II., S. 262—69). Indessen kann dieses Beispiel nicht für die Einsturztheorie in Anspruch genommen werden, da Abich ausdrücklich berichtet, daß der Einsturz ausschließlich im diluvialen Lehmboden erfolgt sei, da man nirgends am Boden oder an den Wänden festes, anstehendes Gestein oder dessen Trümmer bemerkt habe. Es handelt sich hier also um eine Schwemmlanddoline, da Abich angibt, daß diese Doline sich mit noch 12 anderen innerhalb einer schmalen, geradlinigen Zone, die von Cvijić als eine Verwerfung erklärt wird, befindet. Endlich sei es gestattet, auf das am 4. und 5. Nov. 1851 zum ersten Male beobachtete Schallphänomen des Monte Tomatico bei Feltre in Venetien hinzuweisen (W. Haidinger, „Das Schallphänomen des Monte Tomatico bei Feltre," Jahrbuch der geol. Reichs-Anstalt, Wien 1853). Auch dieses Phänomen wird in den von Haidinger gesammelten Berichten als von Einstürzen unterirdischer Höhlen herrührend erklärt. Haidinger schließt sich dieser Ansicht vollinhaltlich an und fährt dann fort (a. a. O., S. 566): „Die ungeheuren Dämme von Steingetrümmer, die man bei der Durchforschung der Höhlen so oft über-

klettern muß, sind nichts anderes als von der Decke hereingebrochene Felsmassen. Öfters erzählen die Zeitungen vom Ausbleiben eines Höhlenflusses, der späterhin aber plötzlich wieder trübe hervorbricht. Das erklärt sich gut durch einen solchen Einbruch. Geht der Bruch zu Tage aus, so bildet sich die Foibe, der Erdfall, der Trichter, die Doline, unter geeigneten Verhältnissen der See.“ Besonders interessant ist ein von einem Herrn von Suckow über dieses Phänomen an Haidinger gerichteter und in obigem Aufsatz abgedruckter Brief. Es heißt darin (S. 561 - 62): „Die Stadt Feltre ist auf einem Erdraum situiert, welcher die Abdachung der verschiedenen Alpenketten gegen das Meer bildet, und enthält in seinem Schooße unzählige Hohlräume und Schlünde, die mit einander in Verbindung stehen und von dem vorkommenden Höhlenkalk begünstigt werden. Sie sind die Reservoire und Abzüge der unterirdischen Alpenwässer. Die Seen, welche auf diesem Terrain vorkommen, als der Lago maggiore, der Como-, der Garda- und Zirknitzer See (!), die mit Feltre unter einer Breite liegen, sind in der vorgeschichtlichen Zeit durch dieselben Erdfälle entstanden, wovon Feltre bedroht wird, und ursprünglich überdeckte, wasserenthaltende Erdschlünde oder Foiben gewesen, welchen die Natur die obige Bestimmung gab. Bei dem Zirknitzer See als dem jüngsten und merkwürdigsten zeigt sich das noch am deutlichsten, und seine sogenannten Spuck- und Saugelöcher an seinem Felsenrand und in seiner Tiefe, sowie die unterirdischen Katarakte in den bodenlosen Grotten und Felsengewölben, setzen das wunderbare Naturspiel noch fort, das durch keine Erderschütterung wie in Italien gestört wurde, und der See hat noch die Eigentümlichkeit einer Foibe.“ Welch übertriebene Vorstellungen man sich noch kurz vor der Publikation Schmidls von den Grotten Krains machte, geht aus eben diesem Briefe hervor, wo es heißt: „Die Cornialer Grotte und die endlose bei Adelsberg, von der zwei Engländer in 4 Tagen und Nächten das Ende nicht fanden und mit Grausen umkehrten, sind theilweise verschüttete Katabothren, und nur noch

ein reißender Strom, die Poik, bricht sich Bahn durch das Chaos der Unterwelt.“ (S. 562).

Kehren wir nach dieser Abschweifung wieder zu Schmidl zurück! Als die dritte Klasse der Karsterscheinungen bezeichnet er die Verbindungen von vertikalen und horizontalen Räumen; dieselben kämen nicht so häufig als die Schachte vor, aber jedenfalls häufiger als die horizontalen Grotten und Höhlen. In der Regel habe eine solche Grotte mehrere Stockwerke oder vielmehr negative Terrassen unter einander; die prägnantesten Beispiele für diesen Typus seien die Grotten von Corgnale und Trebič. Diese letztere sei allerdings kein natürlicher Schacht, sondern eine durch Sprengungen künstlich hergestellte Verbindung mehrerer Schachte und Klüfte, deren einige stellenweise bis auf wenige Zolle verengt waren. Gerade dieser Umstand aber sei ein lehrreicher Fingerzeig für die innere Struktur des Karstes, den man sich nach allen Richtungen hin, unter denen aber die senkrechte vorherrschend ist, von solchen weiteren und unzählbaren engen Spalten durchzogen denken muß.

Wir haben gesehen, daß Schmidl die Vertiefungen auf der Oberfläche des Karstes als Einstürze in darunter gelegene Hohlräume auffaßt; wie er sich aber die Entstehung dieser primären Gebilde selbst denkt, darüber vermag er keinen Aufschluß zu geben; jedenfalls aber nimmt er die französische Lehre von der Entstehung von Blasenräumen bei der Auffaltung der Gebirge nicht mehr ohne weiteres an; die Höhlenbildung sei überhaupt noch ein Rätsel, „denn von allen Hypothesen über die Entstehung, über die Bildung dieser Höhlen ist bis jetzt keine über allen Zweifel hinaus anerkannt worden (S. 203).“

Durch die Untersuchungen Schmidl's wurde die Frage nach dem Wesen des Karstphänomens mächtig angeregt, und es begannn eine Zeit intensiver Karstforschung. Männer wie Zippe, Lipold, Lorenz, Stur, Stache, Boué, Hauer und insbesondere Tietze beschäftigten sich in den nächsten Jahrzehnten nach ihm mit der Lösung der in Frage stehenden Er-

scheinungen, und das Resultat ihrer Arbeiten war der Ausbau und die Modifikation der von Schmidl begründeten Einsturztheorie.

Wilhelm Zippe (Einige geognostische und mineralogische Bemerkungen über den Höhlenkalkstein des Karst; Anhang zu Schmidl's Werk: Die Höhlen von Adelsberg u. s. w. S. 211 bis 217) macht darauf aufmerksam, daß der im Karste auftretende Kalk mehr oder minder deutlich geschichtet ist und sich den Witterungsverhaltnissen gegenüber höchst sonderbar verhält: „An einigen Stellen ist das Gestein ganz zerfressen, durchlöchert und mit fußlangen und zolldicken Kanälen durchbohrt, der ganze Boden mit einem Haufwerk von derlei angegriffenen größeren und kleineren Steinen bedeckt, während nicht weit davon lose Steine den Boden bedecken, und dieser von allem Pflanzenwuchs entblößt, die nackte Gebirgsmasse zeigt, an welcher man am schönsten die sogenannte Karrenbildung beobachten kann, welche schon aus den Jurakalken der Alpen beschrieben wurde. Auch hier bemerkt man, daß die Hauptrichtung der Karren am öftesten senkrecht auf die Linie des Streichens der Schichten, also dem größten Falle nachgehe, wodurch aber das Gestein oft derart zerklüftet ist, daß man Mühe hat, die Schichtung zu erkennen und von der Zerklüftung zu unterscheiden." Den nahe liegenden Schluß, die Karren als Wirkung der chemischen Erosion des über den reinen Kalkstein abfließenden kohlensäurehaltigen Wassers zu erklären, zieht Zippe indessen nicht. Und doch ist ihm die lösende Kraft desselben sehr wohl bekannt. Ist ja doch nach ihm die Höhlen- und Tropfsteinbildung durch die Auflöslichkeit des kohlensauren Kalkes in kohlensäurehaltendem Wasser bedingt. Die Entstehung der Höhlen selbst denkt er sich folgendermaßen: Im Karstkalke befindet sich Eisen als kohlensaures Oxydul; bei Zutritt der Atmosphäre verwittert dasselbe und wird in Oxyd umgewandelt. Hiebei entwickelt sich Kohlensäure, welche an das die Verwitterung bedingende Wasser tritt und so die Auflösung des Kalkes bewirkt. Den unlöslichen Rück-

stand bildet die rote Dammerde, die Terra rossa. An einigen Stellen nun mag der Kalk reicher an solchem kohlensauren Eisenoxydul sein, welches sich in Adern konzentriert hat; hier werden mit der Zeit Höhlungen entstehen, Einstürze erfolgen und so größere unterirdische Räume gebildet. Die Dolinen sind als Höhlen zu betrachten, deren Decke eingebrochen ist. Mitunter sei die Höhle noch in horizontaler Richtung zu verfolgen, wie die Piuka jama bei Adelsberg, in der Mitte des unterirdischen Wasserlaufes der Poik, und die Doline bei St. Canzian am Anfange desselben. — Was Zippe wesentlich von Schmidl unterscheidet, ist der Umstand, daß er der lösenden Kraft des kohlensäurehaltigen Wassers, deren letzterer nicht einmal Erwähnung tut, eine so große Bedeutung beimißt, dieselbe aber auch nur bei der Bildung der unterirdischen Höhlen, nicht auch der oberirdischen Erscheinungen, der Trichter und Dolinen, wirksam sein läßt.

Ein weiterer Fortschritt wurde in der Karstforschung durch die geologische Landesaufnahme in Unterkrain vom Jahre 1857 gemacht. Hiebei gelangte der k. k. Bergrat **Marcus Vincenz Lipold** zu bemerkenswerten Resultaten, die enthalten sind in seinem Bericht über die geologische Aufnahme in Unterkrain im Jahre 1857 (Jahrbuch der geol. Reichs-Anstalt in Wien, 1858). Wie Zippe erkennt auch er der chemischen Erosion eine große Bedeutung zu, sieht aber die Grundursachen des Karstphänomens in tektonischen Vorgängen. Die gleichmäßige Erhebung des von ihm untersuchten Kalkgebirges über das allgemeine Niveau des Landes habe von vornherein der Bildung von Bergrücken und eigentlichen Tälern nicht entsprochen und somit dem Laufe von Bächen und Flüssen an sich kein günstiges Terrain geboten. Das einzige fließende Gwässer, das sich hier finde, der Gurkfluß, nehme seinen Lauf in einer tiefen Gebirgsspalte. Mit der bedeutenden Erhebung der einzig und allein vorhandenen Kalksteinschichten sei eine vielfache Zerklüftung der letzteren Hand in Hand gegangen. Es

sei daher leicht einzusehen, daß das dem Terrain durch Regen und Schnee zukommende atmosphärische Wasser sich alsbald durch die Spalten und Risse des Kalksteins einen unterirdischen Abfluß suche und einen solchen in den tiefer gelegenen Landesteilen auch finde. Hierin sei der Grund des unterirdischen Laufes der Karstflüsse zu suchen. Die ins Innere des Gebirges verschwundenen Gewässer bilden sich nach und nach zwischen den Kalksteinklüften, teils durch mechanische Wirkung, größtenteils aber durch chemische Auflösung ein unterirdisches Flußbett und gäben dadurch auch zur Bildung ausgedehnter und weitverzweigter unterirdischer Höhlen Anlaß. Den sichersten Beweis für die bedeutende chemische Erosion, welche die unterirdisch fließenden Gewässer auf die Kalksteinschichten, die sie durchziehen, ausüben, indem sie die Kalkerde auflösen, um sie sodann, sobald sie wieder zu Tage fließen, wieder als Kalktuff abzusetzen, sieht Lipold in dem massenhaft und noch fortwährend stattfindenden Absatz des letzteren im Flußbette des Gurk. Dieselben zeigten, welch bedeutende Höhlungen diese allein hervorgebracht haben müsse. Diese so hervorgerufene Höhlenbildung und Unterminierung des Terrains habe nun dort, wo die natürlichen Stützen der unterirdischen Gewölbe, durch fortschreitende Abnagung und Zerstörung geschwächt, endlich dasselbe zu tragen nicht mehr im Stande gewesen seien, notwendiger Weise Brüche und Einstürze, die sich in der Regel bis zum Tage ausgedehnt hätten, hervorgerufen. Die Wirkungen der subterranen Gewässer seien in den zahlreichen pingenartigen und trichterförmigen Vertiefungen an der Oberfläche nicht zu verkennen. Lipold nimmt keinen Anstand, die vorhandenen größeren Dolinen größtenteils, ja selbst manche der bedeutenderen Kesseltäler, dieser Wirkung der unterirdischen Flüsse zuzuschreiben. Bei der Bildung der Kesseltäler scheint er indessen für gewöhnlich tektonische Vorgänge anzunehmen, wenn er ausdrücklich hervorhebt, daß die Längenrichtung fast aller derselben übereinstimmend mit der Hauptrichtung der schon erwähnten

großen Erhebungsspalte des Gurkflusses von NW nach SO verlaufen und daß stets ihre tiefsten Stellen sich an ihrem s. ö. Ende befinden.

Zu etwas abweichenden Resultaten gelangt **Dionys Stur** (Das Isonzothal von Flitsch abwärts bis Görz, die Umgebungen von Wippach, Adelsberg, Planina und die Wochein. Jahrbuch der geol. Reichs-Anstalt in Wien, 1858). Er führt aus, daß in dem von ihm untersuchten Gebiete zweierlei Gebirgsbildung deutlich hervortrete: nämlich einerseits die gewöhnliche Gebirgsform der Alpen, wo Berg und Tal mit einander abwechselten, wo der Lauf des Wassers in Bächen und Flüssen überall sichtbar sei, andererseits die Plattform des Gebirges, wo Hochebenen mit kesselförmigen Vertiefungen, nebst gänzlichem Mangel an ausgesprochenen Gebirgszügen und Talrichtungen herrschen, wo der Wasserlauf ganz oder zum größten Teil unsichtbar ist und in unterirdischen Höhlen und Spalten vor sich geht. Alle Karsterscheinungen stünden in innigstem Zusammenhang mit der zuletzt geschilderten Gebirgsform, und wo diese auftrete, da fänden sich auch die Kessel, die Höhlen und der unterirdische Wasserlauf. Die Grundursachen des Karstphänomens sucht Stur nun in der wellenförmigen Biegung der Kalkschichten. Infolge der Biegungen seien gewölbeartige Höhlen und Höhlungen entstanden, und die Kalkschichten hätten nach verschiedenen Richtungen Risse, Sprünge und Spalten erhalten; diese wiederum bewirkten Einstürze von Höhlengewölben und verbanden die Höhlen miteinander. Auf diese Weise habe also die mechanische Kraft der Gebirgsfaltung, die in den Zentralalpen ohne Rücksicht auf die Gesteinsart die steilsten Schichtenstellungen und Schichtenfächer hervorgerufen habe, weiter entfernt vom Zentralgebirge nur noch stellenweise vermocht, größere Unregelmäßigkeiten in der Lagerung meist weicherer Gesteine zu veranlassen, habe aber im Kalkgebirge eigentümliche Verhältnisse hervorgerufen, durch die dasselbe gezwungen worden sei, unter der als Karstbildung bezeichneten Form zu erscheinen. Daß später

viele dieser Höhlengewölbe durch partielle Deckeneinbrüche gänzlich verschwunden und an ihrer Stelle nur noch die oberirdischen trichterförmigen Kessel und Vertiefungen zurückgeblieben seien, daß die Tagewässer, endlich zu unterirdischen Flüssen gesammelt, vieles zur Erweiterung der Spalten und Verbindung der Höhlen beigetragen hätten, sei nicht zu bezweifeln. Daß aber diese Vorgänge nicht Grundursachen der Höhlenbildung im Kalke sein könnten, sei ebenso einleuchtend.

Joseph Lorenz (Geologische Rekognoszierungen im Liburnischen Karste und den Quarnerischen Inseln. Geol. Reichs-Anstalt, Wien 1859, S. 342—345) gelangt zu folgenden Resultaten: Daß die Karsttrichter aus senkrechten Einstürzen eng umschriebener Stellen hervorgegangen seien, sei eine weit verbreitete Ansicht; der Beweis dafür könne aber nur aus genauer Beobachtung der an ihren Wänden und in der Umgegend herrschenden Schichtenlage geliefert werden; und da ergebe sich denn, daß nur die steilen eigentlich trichterförmigen Löcher mit scharfem Rande wahre Einstürze seien, indem rings um dieselben die herrschende Schichtenlage ganz unverändert geblieben sei. Einer der merkwürdigsten größten Trichter sei jener von Smergo an der Nordküste der Insel Cherso (Dirupo di Smergo genannt). Derselbe bestehe in dem Einsturze einer oval umschriebenen Parzelle eines ziemlich steilen Bergabhanges; seine obere Mündung liege daher nicht, wie bei den in horizontale Flächen eingesenkten Trichtern, auch horizontal, sondern ebenso schief wie der Bergabhang. Alle diese Trichter deuten überein stimmend darauf hin, daß im Karstgebiete erst nachdem die Nummulitenschichten längst ihre eigentümliche orographische Plastik im Großen und Ganzen erhalten und ihre gegenwärtige Festigkeit erlangt hätten, noch eine Folge von senkrecht wirkenden sukkussorischen Stößen gewirkt habe. Diesen Ursprung der Dolinen deute das Verhältnis der schroff abgerissenen Trichterwände zu den dabei ganz unverändert gebliebenen Schichtenlagen und die Natur aller Bruchflächen mit

Sicherheit an. Nur durch mechanische Stöße könnten die Schichten in solche Stücke geborsten sein. Die Kräfte hingegen, durch welche dem Karstgehänge sein orographischer Typus aufgeprägt worden sei, hätten auf noch weiche Schichten gewirkt. Aber auch in der Gestaltung des Karstgepräges dürften wohl zwei aufeinanderfolgende Hebungssysteme, deren Richtungen zu einander senkrecht gewesen seien, zu unterscheiden sein. Dies sei bei allen Talbildungen des Karstes, die nicht aus vertikalen Einbrüchen zu erklären seien, der Fall. Darin hätten auch die eigentlichen Karstmulden (Poljen) ihren Ursprung: Diese seien überall dort entstanden, wo ein Wellental des ersten Hebungssystems zwischen zwei Wellenberge des zweiten zu liegen gekommen sei, so daß es zuletzt rings umwallt gewesen sei, eine Hypothese, die einige Ähnlichkeit hat mit der später von v. Mojsisovics vertretenen Theorie von der Störung der begonnenen Talbildung durch Gebirgsfaltung als der Grundursache des Karstphänomens.

Einen von den Einsturztheoretikern abweichenden Standpunkt nimmt indessen, schon bald nachdem die Ansichten derselben einigermaßen festen Fuß gefaßt hatten, **Ami Boué** ein (Ueber die Karst- und Trichterplastik im Allgemeinen. Sitzungsber. der kais. Akademie der Wissensch. in Wien, naturw. math. Klasse; XLIII; 1861). Boué verfolgt die Trichterplastik vom Kleinen zum Großen und kommt zu dem Ergebnis, daß die kleinsten Oberflächenformen, die Karren, und die größten, die Kesseltäler, als Endpunkte ein und derselben genetischen Reihe anzusehen seien. Die primitive Ursache aber der Karstbildung sieht er in den vielen kleinen vorhandenen Höhlenräumen und Spalten, welche ihrerseits wieder durch Gasentwickelung entstanden seien. In den sekundären, wie eocänen Karstformationen sei nämlich eine Menge tierischer Materien, vorzüglich von Weichtieren, Infusorien u. dgl. im kalkigen Schlamm eingehüllt worden, die durch ihre Verwesung eine Menge Gas entwickelt hätten. Doch diese Ursachen erklärten schwer allein die geome-

trische Regelmäßigkeit mancher der Karsttrichter. Solche regelmäßige Trichter können nur in ihrer Natur nach sehr gleichmäßigen Kalkfelsenschichten vorkommen, wo das Loch oder die Spalte der Wassereinsickerung immer in der Mitte der Trichter sich befinden müsse, von wo dann die weitere Gesteinsverwitterung und Abnutzung gleichzeitig vom Zentrum zur Peripherie stattgefunden habe. Die ovalen Trichter seien wohl durch zwei oder mehrere Felsenlöcher und Spalten entstanden, indem sich zwei ursprünglich vereinzelte Trichter vereinigt hätten. Bei diesem regelrechten Verwitterungsprozesse spiele die Auflösung des Kalksteines durch die Kohlensäure der Luft in Verbindung mit der des Wassers eine entscheidende Rolle; so winzig die Auflösungskraft der Kohlensäure auch sei, so werde sie doch von der langsam arbeitenden, aber nie ermüdenden Natur gebraucht, um aus einer Haarspalte einen Wassertunnel auszuhöhlen. Es sei natürlich, daß manchmal die erwähnten Löcher und Spalten sich verstopften, so daß besonders im Frühjahr Pfützen, kleine Lachen und selbst Seen entstünden. Dadurch werde man unwillkürlich auf die Frage geführt, ob nicht manche Seen wie der bei Imosch und der Jesero in Dalmatien, sondern auch viele der geschlossenen Mulden mit nur unterirdischen Abflüssen denselben Ursprung im Großen haben könnten. Verfolge man die Menge dieser Kessel, die man von Kroatien bis nach Griechenland durch die ganze westliche Türkei, im südöstlichen Macedonien, am Fuße des Rhodope-Gebirges, in Kleinasien und Syrien wiederfinde, so sei es möglich, mit dieser Anzahl von großen und kleinen Mulden eine vollständige Größenskala herzustellen, so daß man eigentlich nicht die Möglichkeit sehe, die Entstehung kleiner Trichter ohne Wasser von derjenigen solcher zu trennen, welche durch größere Ausdehnung als ein Teich, ein kleiner Bach, selbst als ein Fluß mit einen oder mehreren Ponoren oder Katabothren charakterisiert erschienen. Habe man aber einmal die Richtigkeit dieser Annahme erkannt, so komme es einem nicht schwer an, dazu auch solch große Kalkbecken zu rechnen,

welche wie das Gaćkopolje (in der Herzegowina) und Nikšićko-Polje (in Montenegro) mehrere Wasserläufe enthielten. Zwischen den großen Poljen der Kastgegenden und den Karren, die nicht nur in nördlichen Kalkalpen, sondern auch im krainischen Karst und in Istrien vorkämen, sei nur ein Größenunterschied. Besonders anschaulich schildert Boué die letzteren Gebilde folgendermaßen: „Auf der Oberfläche der Karstfelsengebilde bemerkt man oft eine Unzahl von kleinen Vertiefungen und Höckern, so daß endlich das Ganze nicht besser als mit einem sehr unregelmäßigen Netzwerk verglichen werden kann, in welchem die härteren Theile das Garn und die ausgehöhlten, durch Regen- und Schneewasser herausgefressenen Theile die Maschen vorstellen würden. Manchmal sieht das Ding wie ein durch Viehherden zertretener, sonderbar ausgehöhlter Boden aus". Da später das Vorkommen von Karren im Karste von Mojsisovics geleugnet wird, so sei hier gleich erwähnt, daß das Auftreten derselben außer, wie schon erwähnt, von Fortis, Hacquet und Zippe auch bald nach der Boué'schen Publikation auch von Zittel (Die Morlakei und ihre Bewohner; Oesterreichische Revue 1864; S. 227) am Velebit festgestellt wird. Wenn auch Boué der chemischen Erosion durch das Wasser die Hauptwirksamkeit bei der Gestaltung des Karstreliefs zuerkennt, so weist er die Möglichkeit, daß Dolinen auch durch Einsturz entstanden sein könnten, nicht von der Hand; die primitive Unregelmäßigkeit solcher durch Einsturz entstandener Trichter sei durch den Ausfluß kohlensäurehaltiger Mineralwässer verwischt worden; die in vielen Dolinen vorkommende Terra rossa sei als ein Niederschlag derartiger Gewässer anzusehen.

Im Gegensatz zu Boué steht **Guido Stache** entschieden auf dem Boden der Einsturztheorie. Dieser Forscher vertritt die Ansicht, daß das durch eine reiche und mannigfaltige Kessel- und Trichterplastik beherrschte Oberflächenrelief, sowie die subterrane Kanalisierung und Höhlenbildung der mit Karsttypus entwickelten Gebirgsglieder in erster Linie das Ver-

langen stelle, für die Erklärung der allgemeinen morphologischen Kategorie, wie der Einzelerscheinung auf Gesamttektonik und lokale Gebirgsstruktur zurückzugreifen. Das Hauptwerk Guido Staches, in dem er sich mit der Lösung des Karstphänomens nach den eben genannten Gesichtspunkten beschäftigt, fällt allerdings erst in die nächste Periode der Karstforschung, in das Jahr 1889 (Die liburnische Stufe und deren Grenzhorizonte. Abhandlungen der k. k. geol. Reichsanstalt. Bd. XIII; Heft 1), doch wies er auf die tektonischen Grundursachen des Karstphänomens bereits 1864 (Geologisches Landschaftsbild des istrischen Küstenlandes; Oesterr. Revue 1864; VI. Bd.: S. 172) mit folgenden Worten hin: „Alle Erscheinungen und Formen des Schichtenbaues, welche sich dem Haupttypus der großen Längsfalten des Kreidegebirges anschließen, sind geologisch gleichzeitige und denselben Ursachen entspringende Wirkungen, wie diese selbst."

„Nicht leicht sind auch für die Bildung der zahlreichen unregelmäßiger verteilten, mehr lokalen Abweichungen und Unterbrechungen, wie Uberkippungen, Überschiebungen, Einsenkungen etc. die ersten Ursachen anderswo zu suchen als in den bewegenden, mechanischen Kraftäußerungen dieser Periode (der Zeit nach Ablagerung der jüngsten Flyschschichten). — Im Gegenteil wäre die Erscheinung der Faltung ganzer gebirgsbildender Schichtenmassen noch unbegreiflicher, wenn sie nicht von häufigen lokalen Unregelmäßigkeiten wie Stauungen und Wölbungen, Berstungen, Einstürzen und Zermalmung großer Gesteinsschollen zu Schutt und Breccienmaterial begleitet wären."

„Durch solche Verhältnisse allein konnte der Grund gelegt werden zu all den auffallenden Erscheinungen des oberirdischen und unterirdischen Baues der Karstgebiete."

„Die wiederholten Erderschütterungen, denen jene Gegenden ausgesetzt waren, verbunden mit der Einwirkung unterwühlender Meeresströmungen an den Küsten und der rastlosen Tätigkeit der atmosphärischen Agentien, sowie der unterirdischen Wasser-

läufe arbeiteten jene durch die gewaltsamen Katastrophen der zweiten Umbildungsepoche des Landes geschaffenen Angriffspunkte (Vorbedingungen) nur noch weiter aus."

Da wir auf die spätere Publikation Staches nicht mehr zurückkommen werden, so wollen wir bereits hier hervorheben, daß er auch später noch im allgemeinen auf diesem Standpunkte steht, daß er nicht, wie Boué und die späteren Erosionstheoretiker, in der einfachen Lösung und mechanischen Auswaschung des Kalksteines, sondern lediglich in der tektonischen Anlage in Verbindung mit dem Fortschreiten mehrfacher Zerklüftung und der Einwirkung von Erderschütterungen die Hauptrolle bei der Herausbildung des Dolinenreliefs sieht. Die Vorbedingung für die normale Trichterbildung ist die Entstehung von Hohlräumen und auch diese sind auf tektonische Vorgänge zurückzuführen (a. a. O. S. 13).

Gleichfalls ein entschiedener Vertreter der Einsturztheorie ist **Franz v. Hauer,** der jedoch weniger in tektonischen Vorgängen als in der durch die chemische Auflösung des Kalksteins hervorgerufenen Höhlenbildung die primäre Ursache der Karsterscheinungen sucht. Er sagt hierüber (Geologie, Wien 1875) folgendes: „Durch die chemische Tätigkeit des Wassers, namentlich wenn dasselbe unter höherem Druck, bei höherer Temperatur und in Verbindung mit Kohlensäure oder anderen Säuren die Gebirgssteine durchdringt, werden dieselben zersetzt, theilweise aufgelöst und ihre Bestandtheile an die Erdoberfläche geführt. Diese durch lange Zeitperioden fortdauernde Aktion muß nothwendig Hohlräume im Innern der Erdrinde hervorbringen, und ihr verdanken in der That die Höhlen und unterirdischen Grotten, die wir am häufigsten in den leicht löslichen Kalk- und Gypsgesteinen finden, ihre Entstehung. Derartige Hohlräume nun, wenn bei ihrer fortwährenden Erweiterung das Deckengewölbe die auf demselben ruhende Last nicht mehr zu tragen vermag, stürzen ein, und die durch den Sturz hervorgebrachte Erschütterung wird stets ein je nach der Bedeutung der Katastrophe mehr oder

weniger weit reichendes Erdleben hervorrufen. In manchen Gebieten, wie namentlich in den aus Kalksteinen bestehenden Plateaus der Karstländer ist in der That der ganze Untergrund von Höhlen und Grotten durchzogen; stundenweit hat man an vielen Stellen — ich erinnere hier nur an die Adelsberger Grotte — ihren unterirdischen Lauf verfolgt, ohne bisher auch nur annähernd diese ganze unterirdische Welt erforscht zu haben. Von der Häufigkeit der Einstürze aber, welche in diesen Gebieten stattfinden, geben die zahllosen Gesteinstrichter oder Dolinen, welche man auf den Plateaus beobachtet, ein untrügliches Kennzeichen. In Form und Art der Entstehung sind sie genau dasselbe, wie die von dem Bergmann sogenannten Pingen [1]) oder kreisförmigen Erdtrichter, welche durch den Einsturz der in den Bergbauen durch Menschenhand hervorgebrachten Hohlräume so häufig entstehen. Übrigens kann man sich, wenn die Hohlräume eine beträchtliche horizontale, aber nur geringe vertikale Ausdehnung besitzen, auch ganz wohl vorstellen, daß die Folgen des Einsturzes an der Erdoberfläche nicht immer sichtbar werden." Hauer beschäftigt sich des weiteren auch mit dem Vorkommen der Terra rossa, die nur im Kalkstein auftrete und auch da nur, wo trockenes Klima und spärlicher Pflanzenwuchs herrschen. Es dürfte hier der Platz sein, die verschiedenen Ansichten, die über die Entstehung der Terra rossa laut geworden sind, im Zusammenhange zu behandeln.

Wir haben schon gesehen, daß die **Terra rossa** häufig als plutonisches Gebilde angesprochen wurde, so bereits von Fortis, sodann von A. v. Morlot, der sie als den letzten Rückstand der sauren Mineralwassereruptionen, die in seiner Höhlenbildungstheorie eine so bedeutsame Rolle spielen, angesehen wissen will; für den Rückstand kohlensäurehaltiger Mineral-

[1]) Vor F. v. Hauer hat auch schon Hacquet auf die Ähnlichkeit der Dolinen mit den Pingen der Bergwerke hingewiesen.

wässer hält sie auch Boué. Hacquet hatte sie zwar schon richtig als den Rückstand bei der chemischen Lösung des mineralischen Säuren ausgesetzten Kalksteines erkannt, vermochte sich jedoch über die wahre Natur dieses Verwitterungslehmes noch nicht klar zu werden, hält er sie doch für die Ursache der raschen Verwitterung des Kalksteines, während sie in Wirklichkeit die unlösliche Asche desselben ist. Aufklärung über das wahre Wesen der Terra rossa wurde erst durch die Untersuchungen von M. Neumayr (Zur Bildung der Terra rossa; Verh. d. k. k. Reichs-Anstalt, Wien 1875, S. 50) und von Th. Fuchs (Zur Bildung der Terra rossa; Verh. d. k. k. Reichs-Anstalt, Wien 1875, S. 194—196) gebracht.

Nach Neumayr ist der rote Lehm der Kalkhochebenen und der rote Höhlenlehm durch das Vorhandensein von Kalken bedingt. Um die auffallende Erscheinung, daß reine Kalke ein stark eisenhaltiges Silikat einschließen sollten, zu prüfen, löste er 71,76 Gramm reinen, schneeweißen Karstkalkes von Cherso in Essigsäure auf und fand 0,044% rotes Silikat, in welchem ungefähr 20% Eisenoxyd enthalten waren. Licht auf den Ursprung der Terra rossa warfen die Untersuchungen der Challengerexpedition von 1872—1876; dieselben ergaben, daß der Meeresboden in einer Tiefe von 2200 Faden auf weite Strecken von Globigerinenschlamm bedeckt sei. Von da an bis 2700 Faden stellt sich grauer Schlamm und in noch größeren Tiefen ein überaus fein verteiltes Sediment, ein stark eisenhaltiger Ton ein. Die Gehäuse der Globigerinen erhalten sich nur bis 2200 Faden Tiefe, bei größerem Druck werden sie vom Meerwasser angegriffen, es bildet sich der graue Schlamm, während in noch größerer Tiefe alles Kalkkarbonat gelöst wird und nur unlösliche Silikate übrig bleiben. Bei der Behandlung von weißem Globigerinenschlamm mit verdünnten Säuren zeigt sich ein dem roten Tiefseeschlamm entsprechendes Eisenoxydsilikat, so daß der Beweis geliefert erscheint, derselbe sei durch den unlöslichen Rückstand der Globigerinenschalen ge-

bildet. Da nun, so folgert Neumayr, die Mehrzahl aller Kalke nichts anderes als verhärteter und veränderter Foraminiferen-(Globigerinen-)Schlamm sei, sei der Ursprung der Terra rossa gegeben, wobei es gleichgiltig sei, ob jener vom Meereswasser unter einem Drucke von 500 Atmosphären oder durch Säure gelöst, oder ob er nach langen geologischen Zeiträumen als kompakter Kalk von Wasser und Kohlensäure zersetzt werde.

Diese Ansicht Neumayrs wird von Th. Fuchs in einigen Punkten erweitert und modifiziert. Rote Karsterde bilde sich nämlich, wie ihm Beobachtungen im Tertiärkalk Maltas und Gozzos, im sehr jungen Pliocänkalk der den Piräus einschließenden Hügel und auf Süßwasserkalken bei Markopulo und Calamo in Griechenland bewiesen, durchaus nicht ausschließlich aus Globigerinenschlamm, sondern auch auf jurassischen, kretazëischen und allen tertiären Kalken, gleichviel ob diese Meeres- oder Süßwasserkalke, tierischen oder pflanzlichen Ursprunges seien. Indessen bilde sich die Terra rossa im mediterranen Gebiete, während sie in den nördlichen Kalkalpen, ja auf den gesamten Kalkbildungen des mittleren und nördlichen Europa fehle. Dies hänge mit den klimatischen Verhältnissen zusammen: trockenes Klima mit spärlichem Pflanzenwuchs begünstige die Bildung der Terra rossa, während feuchtes Klima mit reichem Pflanzenwuchs und größerer Anhäufung humöser Substanzen dieselbe verhindern. Daß im Juraplateau Deutschlands sich Terra rossa finde, sei vielleicht auf das wärmere Klima zur Zeit ihrer Bildung zurückzuführen.

Im Gegensatz zu diesen Ansichten leitet Stache (Ueber die Terra rossa und ihr Verhältnis zum Karstrelief des Küstenlandes; Verhandl. der k. k. geol. Reichsanstalt, Wien 1868, S. 61) die Entstehung der Terra rossa von Absätzen eisenkieshaltigen Tonschlammes her, welche, ähnlich wie die grünlichblauen Bohnerzletten im Elsaß entstanden, späteren Umwandlungen ihre Beschaffenheit verdanken. Gegen den maritimen Ursprung der Terra

rossa wendet sich Stache auch in den Verhandlungen der geol. Reichsanstalt, 1872 (S. 217). Dieser negativen Ansicht stimmt Tietze völlig bei (Geologische Darstellung der Gegend zwischen Karlstadt in Kroatien und dem nördlichen Theil des Kanals der Morlacca, Jahrbuch der geol. Reichsanstalt in Wien 1873, S. 41—42). Wäre die Terra rossa ein mariner Absatz, so ließe sich nicht einsehen, warum dieselbe nur in den Kalkgebieten des Karstes erscheine und die an Flächenraum zwar unbedeutenden, aber doch existierenden und niedrigere Meereshöhen einnehmenden Sandsteingebiete vermeide. Bei den Deutungsversuchen über die Entstehung der Terra rossa sei man vielmehr auf die Theorie über die Bohnerzbildungen, wie sie von Boué und Hauer aufgestellt worden sei, hingewiesen, als auf Betrachtungen über einen maritimen Ursprung der Terra rossa. Mit eruptiven Erscheinungen will er die Bildung derselben indessen nicht in Verbindung gebracht wissen. Später legte Stache seine Ansicht über die Entstehung der Terra rossa in einem Vortrage klar, den er in einer Monatsversammlung der k. k. geologischen Reichsanstalt in Wien hielt. Darnach ist die besonders im Süden häufiger auftretende Terra rossa ein Ueberbleibsel einer pyritreichen Felsart, die ehemals im Gebiete des Karstes die Ueberdeckung der Kreideformation gebildet habe, heutigen Tages aber völlig zerstört und nirgends mehr anstehend zu finden sei; die Terra rossa befinde sich also derzeit auf sekundärer Grundlage. Dieser Ansicht neigt auch Franz Kraus zu, der sich nur mit Hilfe dieser Theorie das Vorkommen der Terra rossa und anderer unerklärbarer Ablagerungen, wie derjenigen in der Sguba jama bei Adelsberg zu erklären vermag. Diese letztere Ablagerung bestehe aus einer satinoberartigen, sonst nirgends am Karst mehr vorkommenden Erdart, die reich mit Quarzkörnern gemengt sei, worin auch Bruchstücke von tertiären Versteinerungen, sowie in ziemlicher Menge Glimmerblättchen enthalten seien. Ein Gestein aber, welches ein solches Zersetzungsprodukt liefere, kenne

man am Karste nicht, und so sei die Annahme wohl berechtigt, daß ein Teil der ehemaligen tertiären Ueberdeckung der Kreideformation verschwunden sei (Höhlenkunde S. 53 u. 195). Kraus weist übrigens auch darauf hin, darauf hin, daß die Terra rossa in den Wasserhöhlen nicht indentisch mit dem Höhlenlehm sei, denn dieser unterscheide sich von jener sowohl durch die Farbe als auch durch die chemische Beschaffenheit. Die gelbbraune Farbe des Höhlenlehmes rühre vom Eisenoxydulgehalte her, während die Terra rossa durch Eisenoxyd rot gefärbt sei (S. 60).

Die von Zippe, Neumayr und Th. Fuchs verfochtene Ansicht, die Terra rossa sei ein Zersetzungsprodukt, das bei der Auflösung und Verwitterung des reinen Kalksteines als unlösbarer Bestandteil desselben zurückbleibe, machen sich auch v. Mojsisovics (Zur Geologie der Karsterscheinungen. Zeitschrift d. deutschen u. österr. Alpenvereins 1880, S. 116), Karl Siegmeth (die Agteleker Tropfsteinhöhle, Eperies 1890, S. 8) Karl Moser (Der Karst und seine Höhlen, Triest 1899, S. 4—7, 19 u. 20) und I. Cvijić (Das Karstphänomen, S. 234 u. 235) zu eigen. Letzterer beschäftigt sich auch mit dem Alter der Terra rossa und stellt fest, daß die Bildung derselben in jedem Karstgebiete mit der Trockenlegung desselben anfange und bis in die Gegenwart fortgesetzt werde. Sie sei also eine terrestrische Bildung, deren Alter in verschiedenen Karstgebieten verschieden sei, je nachdem dieselben früher oder später trocken gelegt worden seien. Auch in einem und demselben Karstgebiete sei nicht die ganze Masse von Terra rossa auf dasselbe Alter zurückzuführen; die Bildung von Terra rossa habe z. B. im adriatischen Karstgebiete in der Neogenzeit begonnen und dauere noch heute fort.

Nehmen wir den Faden unserer Abhandlung wieder auf, so lernen wir in dieser Periode der Karstforschung noch einige Forscher kennen, die unbedingte

Vertreter der Einsturztheorie sind. **Wilhelm Urbas** pflegt besonders die hydrographische Seite der Karstforschung („Die Gewässer von Krain," Zeitschrift d. deutsch. u. österr. Alpenvereins, 1877; und „Das Phänomen des Zirknitzer Sees und die Kesselthäler von Krain," (eben da, 1879). Wesentlich Neues hat Urbas nicht zu Tage gefördert. Die unterirdischen Hohlräume, die er nach dem Vorgange Schmidls in wasserführende Höhlen und trokkene Grotten einteilt, sind durch die chemische und mechanische Kraft des Wassers gebildet worden; dieses Höhlen- und Grottensystem sei jedoch nicht stabil, sondern wie Alles in der Welt in beständiger Umbildung und Fortentwicklung begriffen. Noch immer werde das Gestein, hier durch großen Druck, dort durcch starke Strömung, anderwärts bloß durch die chemische Kraft des Wassers fortwährend gesprengt, zerrieben, aufgelöst; die erweichten Teile würden dann weggeschwemmt und so die vorhandenen Löcher und Kanäle beständig erweitert. Auf solche Art würden diese unterirdischen Räume immer geräumiger. Wasche dann das Tagwasser auch deren Decken so weit aus, daß diese ihr eigenes Gewicht nicht mehr zu tragen vermöchten, sondern Risse bekämen und schließlich einstürzen, so bildeten sich neue Mulden und Trichter, die meist wieder die veranlassende Ursache zur Bildung neuer Wassergänge und Höhlen seien. Denn der durch jene Einstürze aufgehäufte Schutt staue das Wasser; dieses müsse daher neue Auswege suchen und fände sie auch früher oder später in gleichem, tieferem oder auch höherem Niveau. Da sich nun diese Vorgänge seit jeher immer wiederholt hätten, so müßten dadurch selbstverständlich eine Unzahl neben, unter und übereinander laufender Gänge und Grotten mit schachtartigen Abgründen entstehen. Ein treffendes Beispiel liefern hiezu die Felswand von Luegg, die in neun verschiedenen Ebenen von größeren und kleineren Höhlungen, in deren unterste sich der Bach Loqua stürze, durchschnitten sei („Die Gewässer von Krain, S. 152—53).

Hier müssen wir auch eine Notiz des Agramer Professors Pilar in seinem Beitrage zur Lösung der Wasserfrage im kroatischen Karste (Die Wassernoth im Karste der kroatischen Militärgrenze, Agram 1874) erwähnen, da dieselbe infolge der schweren Zugänglichkeit dieser Schrift häufig mißverstanden wurde und seit der irrtümlichen Inanspruchnahme derselben durch Tietze als Hauptbeweis für die „Einsturznatur der Karsttrichter" in alle modernen Arbeiten übergegangen ist. Pilar sagt dort folgendes: „An manchen Stellen gehen diese Veränderungen so rasch von statten, daß mancher Grenzer-Jüngling, welcher nach einigen Dezennien sein Vaterland wieder sah, wohl sagen konnte, es sei durch Neubildung von Trichtern gar nicht mehr zu erkennen gewesen Häuser mußten in Folge von Erdstürzen verlegt werden, Obstgärten, die einmal bestanden, waren nicht mehr, und neue Saumwege waren angebahnt, da die früheren unwegsam geworden." Demgegenüber bemerkt Cvijić (das Karstphänomen, S. 254) ausdrücklich, daß hier von alluvialen, im weichen Sedimente entstehenden Dolinen die Rede sei, daß sie also als Schwemmlanddolinen nicht als Beweis für die Einsturztheorie in Anspruch genommen werden dürften.

Der bedeutendste Vertreter der Einsturztheorie ist **Emil Tietze** geworden. Ihm ist der letzte Ausbau dieser Theorie zu verdanken. Wir werden bei der Besprechung der nächsten Periode gelegentlichst seiner Kontroverse mit v. Mojsisovics noch ausführlicher auf Tietze zurückkommen. Hier genüge es, hervorzuheben, daß er mit aller Entschiedenheit auf dem Boden der Einsturztheorie stand, wie das deutlich aus seiner, wenigstens für diese Periode als sein Hauptwerk anzusehenden Publikation: „Geologische Darstellung der Gegend zwischen Karlstadt in Kroatien und dem nördlichen Theil des Kanals der Morlacca" (Jahrbuch der k. k. geol. Reichsanstalt in Wien, 1873) hervorgeht. Seine hier ausgesprochene Ansicht, die der Standpunkt fast aller gleichzeitigen Geologen war, läßt sich kurz in folgenden Sätzen präzisieren:

1. Die Entstehung der Karsterscheinungen ist bedingt durch das Vorkommen des Kalkes, der zu den zerstörbarsten und besonders der auflösenden Kraft des Wassers gegenüber nachgiebigsten Gesteinen gehört.

2. Die Zerklüftung und Durchlöcherung der Kalkmassen ist das Hauptmoment für die Beurteilung der hydrographischen Verhältnisse des Karstes. Durch sie wurde die Erosion größtenteils in das Innere des Gebirges verlegt, so daß die Oberfläche nur ungenügende und unzusammenhängende Talbildung aufweist.

3. Diese subterrane Erosion bewirkte ein außerordentliche Unterwaschung des Gebirges und ausgedehnte Höhlenbildung.

4. Mit dieser Aushöhlung und Zerklüftung des Kalkgebirges hängt es zusammen, daß die Oberfläche oder Decke des Gebirges überall dort nachsinkt, wo die Unterlage bis zu einem gewissen Grade weggelaugt, aufgelöst oder weggeschwemmt ist.

5. Die Dolinen sind die wahrsten und sichersten Zeugen von Einstürzen über darunter befindlichen Hohlräumen, welche heute entweder ganz oder zum Teil mit dem nachgestürzten Materiale ausgefüllt sind.

6. Zwischen den kleineren Trichtern, den größeren Dolinen und den großen kesselförmigen Tälern besteht kein prinzipieller Unterschied.

7. Die Karren sind dagegen nicht, wie dies Boué getan hat, mit den Karsttrichtern in Verbindung zu bringen.

8. Die anscheinend abnormen Niveauveränderungen der Karstgewässer sind sehr einfach aus dem Gesetz der kommunizierenden Röhren zu erklären, wenn man außer einem engen Mundloch eine größere Verstopfung der Spalten und Trichter annimmt, aus denen das Wasser hervorquillt. Diese Verstopfung erlaubt die größere, bis zu einer bedeutenden Höhe über das Talniveau gehende Erhöhung der Wassersäule, welche ideal gesprochen, den längeren Schenkel der beiden kommunizierenden Röhren darstellt, und deren kürzerer Schenkel mit der Talsohle oben abschneidet. Erreicht nun der hydrostatische Druck in dem einen

durch die Spaltensysteme des Gebirges gebildeten Schenkel dieser Röhren ein solches Maß, daß er den Widerstand jener die betreffenden Spalten der Ebene verstopfenden Massen überwindet, so wird das Wasser aus diesen Spalten, welche den anderen Schenkel der kommunizierenden Röhren darstellen, mit Gewalt in einer hohen Säule emporgeschleudert werden.

9. Die Terra rossa, deren Bildung gegenüber der Auflösung und Auswaschung des Kalkes als sekundärer, dieselbe begleitender Prozeß zu betrachten ist, ist, wie schon im Zusammenhange erwähnt, nicht maritimen Ursprunges, sondern sie ist, analog den Bohnerzbildungen ein Produkt von Säuerlingen.

10. Die ungeheure geographische Ausdehnung des Karstphänomens schließt jede auf lokale Möglichkeiten berechnete Erklärungsweise desselben aus. Die Dolinen sind nicht bloß Erscheinungen äußerer Gebirgsskulptur, sie sind abhängig von der inneren Struktur des Karstes.

Mit dem Ende des 8. Dezenniums des 19. Jahrhunderts war die Einsturztheorie zur Alleinherrschaft gelangt. War man auch in dieser letzten Periode der Karstforschung bezüglich der primären Karsterscheinungen, der Höhlenbildung, nicht durchweg zu übereinstimmenden Anschauungen gelangt, bezüglich der dem Karstgebiete sein eigentümliches Gepräge verleihenden Oberflächenerscheinungen herrschte fast ausnahmslos Übereinstimmung: Das Dolinenphänomen ist nicht anders zu erklären als durch Deckeinbrüche unterirdischer Hohlräume.

V.

Der Kampf für und wider die Einsturztheorie.

Schien es, als ob der Einsturztheorie gegen das Ende des achten Dezenniums im Widerstreit der Meinungen endgiltig der Sieg zugefallen sei, so sollte dieser Lehrmeinung bald ein gewichtiger Gegner erstehen: der kaiserliche Oberbergrat **Dr. Edmund v. Mojsisovics.** Gelegentlich seiner geologischen Landesauf-

nahme in Westbosnien gelangte er zu Anschauungen, die von der herrschenden Meinung wesentlich abwichen. Vornehmlich in zwei Publikationen verfocht er seinen Standpunkt („Westbosnien und Türkisch-Croatien", Jahrbuch der geol. Reichsanstalt in Wien 1880, und „Zur Geologie der Karsterscheinungen", Zeitschr. d. deutsch. u. österr. Alpenvereins, 1880), der Tietze Veranlassung zu einer persönlich sehr maßvollen, sachlich aber nun so entschiedeneren Polemik gab.

v. Mojsisovics bezeichnet (Westbosnien u. s. w.) die Karsterscheinungen als „Äußerungen eines durch besondere Umstände bedingten eigentümlichen Erosionsprozesses" und rechnet zu den wesentlichen Karsterscheinungen nur die Becken ohne oberirdischen Abfluß, die weitverzweigten Hohlräume, die unterirdischen Flußläufe und die Einsturzkessel (Dolinen). Von diesen letzteren (Supan nennt sie „Naturschachte") scheidet er jedoch strenge die sogenannten „Karsttrichter" (bei Supan „Felsendolinen" genannt), die man irrtümlicher Weise ebenso wie die Dolinen zu den Einsturzerscheinungen gerechnet habe. Indessen spreche schon die auffallend regelmäßige Form der Trichter gegen diese Annahme. Einstürze kennzeichneten sich durch unregelmäßige Umrisse, und selbst benachbarte, unter ähnlichen Umständen zustande gekommene Einstürze würden nie genau die Form ihrer Nachbarn kopieren. Bei Karsttrichtern gehöre aber gerade die Wiederkehr derselben trichterförmigen Gestalt mit mehr oder weniger kreisrundem Umriß zu deren charakteristischen Eigenschaften. Die volle Überzeugung aber, daß die Karsttrichter keine Einstürze sein könnten, erhalte man in solchen Fällen, wo geneigte Flächen, wie z. B. Berggehänge von Trichtern derart dicht besetzt seien, daß nur schmale Felsrippen als Ränder zwischen den einzelnen Trichtern fortliefen. Man habe derartigen Flächen nicht unpassend das Prädikat „blattersteppig" beigelegt. Wie sich aber derartige oberflächliche Aushöhlungen im festen Kalkstein als Einstürze erklären lassen sollten, scheine ihm gänzlich unverständlich.

v. Mojsisovics glaubt feststellen zu können, daß die Karren, deren Ähnlichkeit mit den Karsttrichtern unverkennbar sei, in diesen südlichen Karstgebieten fehlten, trotzdem die äußeren Bedingungen zur Bildung derselben in vielen Fällen erfüllt erschienen. Die Unrichtigkeit dieser Annahme wird durch die schon erwähnten Beobachtungen von Karrenfeldern im klassischen Karstgebiete durch Zippe, Zittel und andere dargetan. Diese Uebereinstimmung der Karrenfelder der nördlichen Kalkalpen, deren Entstehung durch chemische Erosion durch Heim (Ueber die Karrenfelder." Jahrb. d. Schweizer Alpenclub. 1877—78, Bd. 13, S. 421—433) bereits endgültig festgestellt war, mit den mit Trichtern besäten „blattersteppigen" Gehängen des Karstes, sowie der innige Zusammenhang zwischen der Verbreitung der Trichter und dem Auftreten der Terra rossa oder deren Derivaten bestärkten v. Mojsisovics in seiner Ansicht, daß die sogenanten Karsttrichter in die Kategorie der „geologischen Orgeln" gehörten, mit denen sie auch die äußere Gestalt gemeinsam hätten. Die Karsttrichter seien die Hauptangriffspunkte der chemischen subaërischen Auflösung der Kalkfelsen, und deshalb finde sich auch die unlösliche Asche des Kalkes, die Terra rossa, so innig mit den Trichtern vergesellschaftet. v. Mojsisovics fügt noch hinzu, daß die Karsttrichter, ebenso wie ihre Stellvertreter in den nördlichen Kalkalpen, die Karren, stets gesellig auftreten, und daß der Durchmesser der einzelnen Trichter von wenigen Centimetern bis zu vielen Metern variieren könne. Es sei augenscheinlich, daß die Trichter allmählich nach Tiefe und Umfang wüchsen. Benachbarte Trichter vereinigten sich mit der Zeit infolge der allmählichen Auflösung der Scheidewand zu Doppeltrichtern u. s. w. Der Zusammenhang zwischen den Karsttrichtern und den eigentlichen Karsterscheinungen bestünde demnach nur in dem zufälligen Zusammenvorkommen an demselben Orte.

Diese Erosionstrichter also rechnet v. Mojsisovics nicht zu den eigentlichen Karsterscheinungen. Diese träten nach seiner Ansicht überhaupt nicht allgemein

überall dort auf, wo reine Kalke gebirgsbildend vorkämen. Auch die großartige Durchlöcherung der Kalkformation, die unterirdischen Flußläufe und die durch diese teils mechanische, teils chemische, Erosion bewirkten partiellen Einstürze seien es nicht, welche das Karstphänomen bedingten. Sie seien offenbar nur begleitende Erscheinungen, für welche hier die Bedingungen aus noch unbekannten Gründen günstiger seien als anderwärts. Sie seien nur die sichtbaren Aeußerungen des Karstprozesses.

Worin besteht nun nach v. Mojsisovics das eigentliche Wesen dieses Karstprozesses? Nach seiner Ansicht sei ein sehr wichtiger Punkt für die Beurteilung der Karsterscheinungen bisher übersehen oder wenigstens nicht hinreichend gewürdigt worden. Es seien dies die großen, die Stelle der normalen Talbildung einnehmenden, trogförmigen Becken (Poljen), deren Ursprung nur in wenigen Fällen auf wirkliche Einstürze zurückzuführen sei. In den meisten Fällen trügen diese Becken den Stempel einfacher Erosionstäler, deren Ausgang durch einen Felsriegel verlegt erscheine. Jeder Versuch einer Erklärung der Karsterscheinungen müsse vor Allem diesen blinden Tälern Rechnung tragen. v. Mojsisovics fährt alsdann folgendermaßen fort: „Da das Karstphänomen, wo es auftritt, keine lokalisierte Erscheinung ist, sondern über weite Distrikte gleichmäßig verbreitet ist, da ferner selbst ein der Entfaltung dieses Phänomens ungünstig erscheinender Gebirgsbau, wie z. B. der dalmatinisch-bosnische Faltenbau, die Erscheinung keineswegs zu beeinträchtigen vermag, so kann nur eine auf weite Strecken hin gleichmäßig wirkende, mächtige Kraft die Ursache des Karstprozesses sein. Meiner Ansicht nach ist nun diese Kraft keine andere als der horizontal wirkende Gebirgsschub."

„Wenn in Gebirgsgegenden die mechanische Arbeit der Talbildung (v. Mojsisovics ist mit Rütimeyer, Heim und anderen der Ansicht, daß die Gebirgstäler der Hauptsache nach das Werk der Erosion seien) durch fortdauernde mehr oder weniger intermittierende Gebirgsfaltung gestört oder unterbrochen

wird, so wird die nächste Folge die Abdämmung von Talstrecken zu Seebecken sein. Besteht das Gebirge aus im Wasser unlöslichen Gesteinen, so kann erst die Ausfüllung der Seebecken durch Neubildungen oder die mechanische Ausfeilung einer Flußrinne das Seebecken wieder trockenlegen. Besteht dagegen das Gebirge aus einem im Wasser relativ leicht löslichen Gestein, wie reinem Kalk, welcher überdies leicht zur Zerklüftung neigt, so kann sich das Wasser zunächst durch chemische, in späteren Perioden aber durch vereinigt chemisch-mechanische Erosion unterirdische Abflußwege öffnen. Eine von der horizontalen Lage sich nur wenig entfernende Schichtenstellung wird dieser unterirdischen Erosion besonders günstig sein. Die den Prozeß beschleunigende Zerklüftung der Kalkfelsen kann selbstverständlich durch die fortdauernde Gebirgsfaltung herbeigeführt oder beschleunigt werden. Hört die Gebirgsstauung auf oder läßt die Intensivität derselben bedeutend nach, so werden sich nach und nach in Folge des Nachstürzens des Deckgebirges und der gleichzeitig fortschreitenden subaërischen Denudation die unterirdischen Flußläufe in subaërische Abflußrinnen transformieren — und der Karstprozeß, welcher sonach als eine besondere Form der Erosion in reinen Kalkgebieten erscheint, ist beendet."

„Störung der begonnenen Talbildung in Kalkgebirgen durch Gebirgsfaltung wäre sonach die erste Veranlassung zur Herausbildung des Karstphänomens."

Einen schlagenden Beweis für die Richtigkeit dieser Theorie bilden für v. Mojsisovics die zumeist von jungtertiären Süßwasserbildungen erfüllten Becken des bosnischen Karstlandes. Die geologische Geschichte Bosniens lehre, daß erst nach dem Absatz der oligocänen Bildungen das Land über den Meeresspiegel empor gefaltet wurde. In die Zeit zwischen dieser Trockenlegung und der Bildung der innerbosnischen Seebecken falle die Hauptfaltung des Gebirges und die Hauptarbeit der Denudation. Das Gebirge sei bereits konturiert und mächtige Talsysteme seien

ausgefeilt gewesen, als die Bildung der Süßwasserseen begonnen habe. In den Seen habe sich allmählich eine mächtige Folge von Sedimenten, meistens von Süßwasser-Couchylien erfüllte Kalkmergel abgesetzt. An der Basis dieser Süßwasser-Niederschläge finde man nun stets Braunkohlenflötze. Es sei daher der Seenperiode eine Zeit der Torfmoorbildung vorausgegangen, und diese zeichnen den Beginn der allmählichen Abdämmung der Talböden. Um ein Torfmoor in ein Seebecken zur verwandeln, müsse sich entweder der Boden desselben senken oder es müsse sich talabwärts ein stauendes Hindernis, ein sogenannter Seeriegel, bilden. Wenn man von ganz lokal wirkenden Ursachen, wie Bergstürzen u. dgl., absehe, so blieben zur Erklärung derartiger, ungleicher Bodenschwankungen nur die vom Gebirgsschub herrührenden Bewegungen der Gebirgsmasse übrig. Mit Ausnahmen von wenigen Fällen, wo lokale Einstürze angenommen werden könnten, ließen sich die Abdämmungen der bosnischen Tertiärseen auf lokale Einflüsse nicht zurückführen.

Fast jedes größere Talsystem in Bosnien besitze ein oder mehrere tertiäre Seebecken. Die alten Seen seien daher eine allgemeine und charakteristische Eigenschaft der bosnischen Talsysteme, und nur eine allgemein wirkende, das ganze Gebiet gleichmäßig treffende Ursache könne ihre Entstehung veranlaßt haben. Die Störungen, welche die jungtertiären Bildungen innerhalb der Becken zeigten, bewiesen, daß der Gebirgsschub aber auch noch in jüngster Zeit in diesen Ländern in ausgiebiger Weise tätig gewesen sei.

Die Bedingungen für den Karstprozeß seien daher bis in die neuste Zeit gegeben gewesen. Ob dieselben auch heute noch in so hohem Maße und überall vorhanden seien, sei schwierig zu entscheiden. In einigen Gegenden scheine der Prozeß abgelaufen zu sein; wer aber vermöge zu bestimmen, ob sich das alte Spiel, das sich so oft wiederholt haben möge, nicht nochmals erneuern werde?

Carl Diener schießt sich („Libanon“ 1886) an v. Mojsisovics vollinhaltlich an und stellt zahlreiche

Gründe gegen die Einsturztheorie zusammen (S. 220 u. s. w.).

Auch Eberhard Fugger („Der Untersberg"; Zeitschr. des deutsch. u. österr. Alpenvereins, 1886) glaubt die von ihm auf dem Plateau des Unterberges beobachteten Karsterscheinungen: ausgeprägte Karren- und Schneetrichterbildung, nur mit Hilfe der Erosionstheorie deuten zu können. Bezüglich der Karrenbildung schließt er sich an Gümbel und Heim an und erklärt sie als das Resultat teilweise der mechanischen, vorzugsweise aber der chemischen Wirkung des Wassers, und zwar der Schmelzwasser des Frühlings und der Regenwasser des Sommers; auf mechanische Wirkung von Schmelzwasser eiszeitlicher Gletscher, wie F. Simony meinte („Ueber die Spuren der vorgeschichtlichen Eiszeit im Salzkammergut", Ber. über die Mitth. von Freunden der Naturwiss. in Wien, 1847, I., S. 215), sei die Karrenbildung keineswegs zurückzuführen (S. 176 bis 190). In gleicher Weise sei die Entstehung der zahlreichen Schneetrichter auf dem Untersberge durch vereinigt chemisch-mechanische Erosion zu erklären. Wenn vegetabile Stoffe verfaulten, gehe eine chemische Zersetzung vor sich, deren Endprodukte wesentlich Kohlensäure, Humussäuren und Wasser seien. Ein großer Teil der Kohlensäure bleibe im Humus zurück, ein anderer Teil gehe in die Luft über. Dringe nun Wasser durch den Humusboden, so nehme es eine bestimmte Menge Kohlensäure auf, löse den Kalk und eile, da der Boden ja nicht absolut eben sei, der tiefsten Stelle zu, um durch irgend eine Ritze im Boden seinen Abfluß zu suchen; setze sich die chemische Auflösung des Kalkes durch das Wasser durch lange Zeit fort, so werde sich die Form der Vertiefung jener des Trichters nähern. Die Vegetationsdecke aber werde mehr und mehr zerstört werden, was eine weitere Vertiefung des Trichters zur Folge habe. Sei jene endlich vollständig zerstört, so beginne die mechanische Erosion des atmosphärischen Wassers, die bisher durch die Vegetationsdecke nur in geringem Grade ihre Wirkung ausüben konnte.

Von Einstürzen könne bei der Bildung dieser Trichter auf keinen Fall die Rede sein (S. 191—197).

Im Gegensatz zu Diener und Fugger erhebt **Emil Tietze,** dessen Ansichten vom Wesen des Karstphänomens uns bereits bekannt sind, mannigfache Einwände gegen die v. Mojsisovic'schen Theorien, auf die wir etwas näher einzugehen haben („Zur Geologie der Karsterscheinungen"; Jahrbuch der geologischen Reichs-Anstalt in Wien, 1880).

Tietze modifiziert zunächst seine sich an Boué anschließende Ansicht, daß es in den illyrisch-bosnischen Karstgebieten zwischen den kleineren Trichtern, größeren Dolinen und großen kesselförmigen Tälern wenig prinzipielle Unterschiede gäbe. Er wolle gerne zugeben, daß die Anlage solcher Täler keineswegs allgemein durch Einsturz bedingt sei. Doch dürfe man auch andererseits nicht den Zusammenhang verkennen, welcher in Bezug auf Durchlöcherung, unterirdische Aushöhlung und dadurch verursachte partielle Einstürze zwischen dem Boden auch dieser Täler und den Hochflächen des Karstes bestehe. Wenn diese kesselförmigen Täler meist auch keine Einsturztäler seien; einfache Erosionstäler, wie v. Mojsisovics meine, seien sie deshalb noch immer nicht. Jene trogförmigen Becken wiesen oft sehr deutlich die Anlage von Längstalstrecken zwischen dem Streichen der Gebirgsfalten auf (auch Lipold deutete, wie schon erwähnt, auf diesen Umstand hin) und hätten gerade deshalb mit der Erosion verhältnismäßig wenig zu schaffen. Wenn v. Mojsisovics meine, jeder Versuch einer Erklärung der Karsterscheinungen müsse den blinden Tälern Rechnung tragen, so sei der Unterschied zwischen seiner und der v. Mojsisovics'schen Auffassung lediglich der, daß jener in dem Auftreten der blinden Täler mehr einen begleitenden, durch die übrigen Verhältnisse bedingten Umstand der Karsterscheinungen, nicht aber die direkte Ursache derselben erblicke, während v. Mojsisovics umgekehrt in der großartigen Durchlöcherung der betreffenden Kalkformationen, in den unterirdischen Flußläufen und den verschiedenen, keineswegs durchaus geleugneten

Einstürzen nur begleitende Erscheinungen, nicht aber das Wesentliche der Sache sehe. Die Bemerkung von v. Mojsisovics, daß diese Erscheinungen nur „die sichtbaren Äußerungen des Karstprozesses“ seien, glaubt Tietze als Basis eines Einverständnisses benützen zu können, denn dieser Ausdruck beweise, daß v. Mojsisovics ein Gebirge, das der Sichtbarkeit jener Höhlungen und jener eigentümlichen Wasserverhältnisse ermangele, keineswegs als „verkarstet“ zu bezeichnen gewillt sei. Die v. Mojsisovics'sche These: „Störung der begonnenen Talbildung in Kalkgebirgen durch Gebirgsfaltung wäre sonach die erste Veranlassung zur Herausbildung des Karstphänomens“ modifiziert demnach Tietze folgendermaßen: „In Gebirgen, welche eine Disposition zur Karstbildung bereits zeigen, deren Durchlöcherung demnach schon begonnen hat, kann die subaërische Talbildung sich nicht frei entwickeln und durch die Gebirgsfaltung leicht gehemmt werden. Bei der weiteren Fortentwickelung des Karstprozesses werden sich dann freilich die verschiedenen Faktoren desselben gleichsam in die Hände arbeiten, für den Beginn des Prozesses bliebe die Rolle, welche der Gebirgsfaltung gerade für die Entstehung der geschlossenen Kesseltäler zugedacht wurde, eine höchst untergeordnete“ (S. 734).

Indessen leugnet Tietze durchaus nicht einen gewissen Einfluß der gebirgsbildenden Bewegungen auf die Bildung lokaler Zerspaltungen und Zerklüftungen im Kalkstein. Da jedoch ein beträchtlicher Teil der unterirdischen mechanisch-chemischen Erosionstätigkeit in den Karstländern an der Basis der gesamten Kalkmassen, an deren Grenze gegen die impermeablen älteren Schiefer u.s.w. sich geltend mache, da ferner eine größere Anzahl der später zu neuen Angriffspunkten der Erosion dienenden Gesteinszerreißungen erst die Folge der durch jene Erosion an den Schichtgrenzen bewirkten Gleichgewichtsstörungen seien, so bleibe es immerhin fraglich, ob ein gar so großer Teil der Klüfte im Kalk direkt auf die faltenbildende Gebirgsbewegung bezogen werden dürfe. Weiter wendet sich Tietze gegen die v. Mojsisovics'sche

Hypothese, daß sich vor Beginn des Karstprozesses erst Wasseransammlungen in den blinden Talbecken gebildet hätten und daß sich dann erst „das Wasser zunächst durch chemische, in späteren Perioden aber durch vereinigt chemisch-mechanische Erosion unterirdische Auswege“ eröffnet hätte. Dem gegenüber führte Tietze ungefähr folgendes aus: Den Flüssen der Karstgebirge habe es, um ihr Bett siegreich gegen die Faltenbewegung der sich ihnen langsam vorlegenden Gebirgsmassen zu behaupten, in vielen Fällen ganz einfach an Wasser gefehlt. Wenn nun vielen Karstflüssen das zur Behauptung und Aushöhlung ihres oberirdischen Bettes nötige Wasser gefehlt habe, so sei die Annahme nahe liegend, daß sie das ihnen aus den reichen meteorologischen Niederschlägen zufließende Wasser während ihres Laufes auf irgend eine Weise verloren hätten. Sie seien eben genötigt gewesen, dasselbe an unterirdische Hohlräume abzugeben. Solche Hohlräume, diese für den Karst so charakteristischen Erscheinungen, seien also zum Teil, wenn auch noch nicht in der späteren Ausdehnung, schon vorhanden gewesen, ehe oder als die Intensität der Gebirgsfaltung bezüglich des horizontalen Schubes sich geltend gemacht habe. Damit falle ein wesentlicher Vorwurf, den v. Mojsisovics den bisherigen Arbeiten über den Karst entgegengehalten habe, zusammen (S. 736). Weiter führt Tietze gegen v. Mojsisovics ins Feld, daß eine große Anzahl der geschlossenen Kesseltäler des Karstes gar nie Süßwasserbecken besessen hätten und keinerlei derartige tertiäre Ablagerungen aufwiesen. In solchen Terrainvertiefungen habe sich also das Wasser nie dauernd gestaut, abgesehen von den Katabothrenseen, die ja erst eine Folgeerscheinung der Verkarstung seien. Diese blinden Täler ohne tertiäre Absätze seien für die Beurteilung der Frage sehr wichtig; denn warum fänden sich hier keine Wasserablagerungen vor, wenn dieselben dem Beginn des Karstprozesses vorausgegegangen sein sollten.

Tietze unterscheidet demnach zwei Kategorien von Muldentälern:

Im 1. Falle „war die Verkarstung ihrer Umgebung schon mindestens gleichzeitig mit dem Beginne der Gebirgsaufstauung eingeleitet, und die Flüsse arbeiteten somit der Gebirgsstauung gegenüber unter ungünstigen Voraussetzungen. So bildeten sich geschlossene Täler."

„Im 2. Falle traten, sei es durch Einsturz von Hohlräumen, die bisher dem Abfluß gedient hatten, sei es durch Einschwemmungen in diese Hohlräume von außen, sei es endlich stellenweise durch Tropfsteinbildung, Verstopfungen ein, Verstopfungen, welche den Abfluß der betreffenden geschlossenen Niederschlagsbecken ganz oder wenigstens teilweise hemmten. Diese Verstopfungen nämlich brauchen keine allseitigen und absoluten gewesen zu sein, sondern nur groß genug, um das Gleichgewicht von Zufluß und Abfluß zu stören, um einen Ueberschuß von Wasser der Oberfläche der Muldenvertiefungen zu lassen. Damit aber war der Anfang der Seenbildung gegeben, und wo dann ein stagnierendes Wasser das Tal bedeckte, wo also das Gefälle der Flüsse aufgehoben war, dort konnte es den letzteren erst recht nicht mehr gelingen, dem inzwischen fortgeschrittenen Prozeß der Gebirgsfaltung die Spitze zu bieten. Die nunmehr sich einstellenden schlammigen Niederschläge der Süßwasserbecken halfen zeitweise gewiß noch die Verstopfung des Muldenuntergrundes fördern, bis endlich durch vorläufig schwer für jeden einzelnen Fall zu ermittelnde Ereignisse die Trockenlegung jener Becken eintrat." Der Zusammenhang zwischen solchen Tertiärbecken und den eigentlichen Karsterscheinungen besteht nach Tietze nur in dem zufälligen Zusammenvorkommen an demselben Orte.

Die bedeutsamste Kontroverse zwischen v. Mojsisovics und Tietze bewegt sich jedoch auf dem Gebiete der Erklärung des Dolinenphänomens, die ja zu allen Zeiten die größten Schwierigkeiten geboten hat. Während v. Mojsisovics zwischen den Einsturzerscheinungen, den Dolinen (bei Supan: Naturschachten), und den „Angriffspunkten der subaërischen Erosion", den Karsttrichtern (bei Supan: Felsen-

dolinen) unterscheidet, weist Tietze mit aller Entschiedenheit den Gedanken an eine Möglichkeit des Vorkommens rein oberflächlicher Felsenaushöhlungen im Karstgebiete zurück. Wäre dieses Vorkommen erwiesen, dann müßte man allerdings die v. Mojsisovics'sche Erklärung akzeptieren. Dieser sei jedoch den Beweis schuldig geblieben. Denn auch die Karren, die von Boué als „analoge Miniaturerscheinungen" mit den Karsttrichtern in eine und dieselbe genetische Skala eingereiht wurden und als deren südliche Facies v. Mojsisovics die „Karsttrichter" bezeichnete, könnten nicht als Beweis angezogen werden, da sie keine „Aushöhlungen" sondern nur durch die Spülwirkungen des Regenwassers hervorgerufene „Rinnen" seien. Für das Vorkommen derartiger Aushöhlungen bleibe eben nur eine Erklärung übrig: „Wo sich solche Hohlräume bilden, wie sie doch tatsächlich im Karst nachgewiesen sind, müssen auch schließlich Einstürze entstehen. Wo aber sollten die Spuren dieser Einstürze an der Oberfläche anders zu suchen sein, als in den Karsttrichtern, oder aber, welche anderen Oberflächenerscheinungen entsprechen dann solchen Einstürzen?" Auch die kreisrunde Form, setzt Tietze weiter auseinander, könne kein Beweis gegen seine Auffassung vom Dolinenphänomen sein. Denn die Schutthalden im Innern der Karsthöhlen, die ihrerseits sprechende Zeugen von Einstürzen seien, wie der oft zitierte Kalvarienberg in der Adelsberger Grotte, entsprächen doch mit ihrer annähernd kegelförmigen Gestalt ganz gut den Trichterformen der Oberfläche. Die Trichterform mit kreisförmigem Umrisse an der Oberfläche sei im Gegenteil für Einstürze unter gewissen Bedingungen geradezu charakteristisch und dürfe demgemäß, wenn sie bei sich nach der Oberfläche zu öffnenden Höhlungen vorkomme, keineswegs als Beweis gegen die Entstehung solcher Vertiefungen durch Einsturz angesehen werden. Also dürfe auch die bloße Gestalt der Karsttrichter nicht unter den Argumenten gegen die Einsturztheorie verwertet werden. Auch der Hinweis, daß bei den meisten Trichtern ein Zusammenhang mit unterir-

dischen Hohlräumen nicht erkennbar sei, sei nicht stichhaltig. Denn das Fehlen des Zusammenhanges sei nur ein scheinbares; die Kommunikation nach der Tiefe sei eben durch Kalkgeröll und Schutt verlegt und so die Dolinen geschlossen worden. Doch sei diese Verstopfung durchaus nicht immer eine absolute, denn die allgemein beobachtete Tatsache, daß die Spuren eines noch so starken Regens auf den Karstplateaus überraschend schnell verschwänden, spräche dafür, daß allenthalben, wenn auch nicht immer auf den ersten Blick erkennbare Verbindungen mit der Tiefe bestünden. Wären dagegen die Dolinen eine bloße Oberflächenerscheinung nach Art der Riesentöpfe, dann müßte sich das Wasser an ihrem Grunde zu stehenden Becken ansammeln. Endlich wendet sich Tietze gegen die v. Mojsisovics'sche Ansicht, der innige Zusammenhang zwischen der Verbreitung der Terra rossa und derjenigen der Karsttrichter sei ein Beweis für die Entstehung der Trichter durch rein oberflächlich wirkende mechanische und chemische Kräfte. So bestimmt auch ihm der genetische Zusammenhang der Terra rossa mit den Karstkalken im allgemeinen vorschwebe, so vermöge er doch andererseits diesen Zusammenhang gerade mit der v. Mojsisovics vorausgesetzten Entstehung der Karsttrichter nicht vollkommen einzusehen. Denn einerseits sei der rote Lehm durchaus nicht auf die Basis der Dolinen beschränkt, wenn er auch, da alles Schwemmaterial leicht Vertiefungen zugeführt werden könne, besonders häufig von den Umgebungen der Dolinen her in dieselben gewandert sei und sich in verstopften Dolinen dann sogar leichter habe konservieren können als auf freien, zumal geneigten Karstflächen. Andererseits gebe es vielfach Karsttrichter oder Dolinen, in denen dieses Zersetzungsgebilde fehle. Der Zusammenhang der Entstehung des roten Lehmes mit der Entstehung der Trichter sei also durchaus kein notwendiger.

Wenn v. Mojsisovics als das Ziel des Karstprozesses „die endliche Verwandlung der unterirdischen Denudation in eine ausschließlich subaërische und

somit die Verwandlung der unterirdischen Flüsse in oberirdische" bezeichnet, so stimmt ihm Tietze hierin bei. Das Streben der Erosionstätigkeit sei eben hier wie sonst, trotz anscheinend gegenteiliger Wirkungen schließlich ein nivellierendes. Es sei mutatis mutandis die alte Geschichte vom Saturn, der seine Kinder verschlingt.

Indem Tietze nochmals die Ergebnisse seiner polemischen Arbeit gegen v. Mojsisovics zusammenfaßt, schließt er seine Ausführungen folgendermaßen: „Die Erscheinungen in Karstgebieten sind außerordentlich mannigfach und sehr zusammengesetzter Natur; es sind aber stets dieselben Faktoren, durch deren Zusammenwirkung alle diese Erscheinungen hervorgerufen werden. Trotz äußerer Mannigfaltigkeit in den Vorgängen sind die inneren Gesetze derselben außerordentlich einfach. Die kombinierten Wirkungen einer teils oberirdischen, teils unterirdischen Wasserzirkulation nach den gewöhnlichen hydrostatischen und hydrodynamischen Gesetzen, Erosionseffekte im Innern von Kalkgebirgen, chemische Auslaugungen, mechanische Auswaschungen, Bildung von Hohlräumen und Einstürze der Decken dieser Hohlräume, Gleichgewichtsstörungen und Wiederherstellung dieses Gleichgewichts, das sind die Ursachen, auf welche ein Teil der bisherigen Beobachter den Karstprozeß zurückführte. Es muß dem Urteil der unbefangenen Leser unserer Ausführungen überlassen bleiben, ob dabei die Natur noch anderer Kräfte benötigte, oder die Wissenschaft noch neuer Theorien bedurfte, um zu entscheiden, wieviel an denselben neu und wieviel an denselben gut war."

Außer Tietze beteiligten sich auch andere namhafte Forscher an der Verteidigung der durch v. Mojsisovics, Diener und Fugger bedrohten Einsturztheorie. Hier ist zunächst **Eduard Reyer** zu nennen, der in einer Arbeit: „Studien über das Karstrelief (Mitt. der geogr. Ges. in Wien, 1881) einige wesentlich neue Momente zur Erklärung des Karstphänomens anzieht. Die Wirkungen der Ober-

flächenerosion: Bildung von Karrenfeldern, Sauglöchern, sowie Absatz von Terra rossa, läßt er unberücksichtigt, beschäftigt sich vielmehr nur mit den Karstlöchern und Trichtern und deren tektonischen Ursachen. Tektonische Momente sind es also, die häufig die Höhlenbildung und die durch sie bedingte Dolinenbildung hervorgerufen haben. Häufig fänden sich, wie in der Talspalte von Smarje, die Dolinen reihenweise angeordnet. In einem solchen Falle liege offenbar eine der Faltung des Karstgebirges parallel streichende Verwerfung vor. Die streckenweise nahe der Oberfläche befindlichen Weitungen dieser Verwerfungen seien infolge Niederbruches ihrer Deckengewölbe die Ursache der reihenweise angeordneten Dolinen geworden. Hiebei sei für das Relief der Dolinen der Verlauf der Schichtung von Bedeutung. Lägen die Schichten horizontal, so entstünden regelmäßige Senkungstrichter, sobald sie aber geneigt seien, werde die Form der Dolinen unregelmäßig; dann werde die Seite der Verwerfung, auf welcher die Schichten gegen die Dolinen einfallen (des leichten Verrutschens wegen) eine geringe Böschung aufweisen, die Seite hingegen, auf welcher die Schichten von der Dolinen wegfielen, werde, indem die einzelnen Schichten sich gegenseitig stützen, meist steile Abstürze erhalten. Hier erwähnen wir gleich, daß Karl Moser („Der Karst und seine Höhlen", Triest 1899, S. 3) es auffallend findet, daß dieser Steil- oder Bruchrand der Dolinen stets den Nordwinden ausgesetzt ist, ohne jedoch den Schluß ziehen zu wollen, daß die Bildung der Dolinen oder ihres Steilrandes von den Nordwinden allein abhängig gemacht werden könnte. Immerhin erscheint es uns nicht ausgeschlossen, daß hier der Winderosion eine gewisse Rolle zuerkannt werden muß.

Doch nun zurück zu den Ausführungen Reyers! Habe eine Verwerfung einen langen Verlauf, so würden auf dieser Strecke begreiflicherweise mehrere Spaltweitungen nahe der Erdoberfläche vorkommen. Dementsprechend werde sich eine Serie von Dolinen bilden; wo eine solche Doline elliptisch gestaltet sei,

da würde diese Längserstreckung gewiß auch mit dem Verlauf der Spalte harmonieren. Diese Verwerfungen stellten jedoch selten ein Kontinuum dar, sondern die Weitungen träten nur stellenweise auf, sodaß zwischen den einzelnen Dolinen feste, von der Senkung unberührte Rücken oder Brücken stehen blieben. Diese maskierten dann natürlich den Verlauf der Spalte mehr oder minder.

Außer diesen durch Dislokationen bedingten und mit Einsturzphänomenen verbundenen Höhlen, gebe es aber auch solche, deren Ursachen in der Schichtung des Gesteins zu suchen sei. Wenn nämlich eine Zwischenschicht aus lockerem oder leicht löslichem Materiale bestehe, so bahnen sich die Sickerwasser innerhalb derselben Wege und räumen das Material allmählich aus. Die Folge sei, daß die hangenden Schichten, die nun nicht mehr gestützt seien, niederbrechen.

Beide Höhlentypen, die Klufthöhle und die Schichthöhle, kombinierten sich häufig; Auswaschungen und Einstürze träten hinzu, und so entstünden schließlich äußerst mannigfaltige Gestaltungen.

Reyer unterscheidet demnach Dolinen, die sich über Klufthöhlen, und solche, die sich über Schichthöhlen befinden, wenn er diese genetische Einteilung auch nicht ausdrücklich anführt; in jedem Falle aber sind die Dolinen als nichts anderes anzusehen wie als Einsturzerscheinungen.

Diese von Abich („Über einen in der Nähe von Tula stattgefundenen Erdfall, Mélanges phisiques et chimiques. 1854. 7. II. S. 262—269) bereits angedeutete und von Reyer zuerst erklärte reihenförmige Anordnung der Dolinen wurde auch von Franz Toula aus Wien in der Krim beobachtet; er stellt gleichfalls fest, daß die sanft geneigte Seite der Dolinen stets von der Schichtfläche gebildet, während die andere steilere Seite von den ausgehenden stufenförmig übereinander folgenden Schichtköpfen gebildet werde (Eine Krimreise. Deutsche Rundschau für Geographie und Statistik, Wien 1889, S. 349). Die Dolinen selbst denkt sich Toula durch Einsturz entstanden.

Als entschiedene Vertreter der Einsturztheorie lernen wir weiter C. Fruwirt und Franz Kraus

kennen. Ersterer beschäftigt sich in seinem Werke: „Über Höhlen“ (Zeitschr. des deutsch. und österr. A.-Vereins, 1885, S. 108—128) mit den verschiedenen Einteilungsprinzipien der Höhlen, ihrer Bildung, ihrem Vergehen und ihrer Ausfüllung, sowie mit der Bildung der Dolinen und Klammen. Bezüglich der Einteilung der Höhlen und Grotten empfiehlt Fruwirt folgendes auf genetischer Grundlage aufgebaute Schema, das jedoch das Dolinenphänomen unberücksichtigt läßt:

Wasserhöhlen	Spalthöhlen	Lavahöhlen
Wasserhöhlen, Grotten, (Balmen), Eishöhlen, Wind- und Wetterlöcher, Gipsschlote.	Spalthöhlen, Eishöhlen, Gashöhlen, Wind- und Wetterlöcher.	Lavahöhlen, Eishöhlen, Wind- nnd Wetterlöcher.

Mit der Bildung der Dolinen, die für uns besonders in Betracht kommt, befaßt sich Fruwirt in einem gesonderten Kapitel. Wesentlich neue Momente enthält die Arbeit nicht. Fruwirt unterzieht in derselben die drei Hauptgründe, die gegen die ältere Einsturztheorie vorgebracht wurden und die wir gelegentlich der Polemik Tietze contra v. Mojsisovics bereits eingehend gewürdigt haben, nochmals einer kritischen Betrachtung, ohne jedoch neue Beweise für die Einsturztheorie anführen zu können. Inwieweit das von ihm, wie fast von allen neueren Einsturztheoretikern, angeführte bekannte Citat Pilars für die Einsturztheorie verwertet werden kann, ist oben bereits besprochen worden. Ob die Mitteilung Fruwirts, der Lauf des Höhlenbaches zwischen der Slouperhöhle und dem Punkwaausfluß im mährischen Devongebiete sei an der Oberfläche durch eine Reihe von Erdtrichtern gekennzeichnet, den Tatsachen entspricht und demnach als Beweis für die Einsturztheorie angezogen werden kann, entzieht sich unserer Kenntnis; Cvijić wenigstens behauptet in seinem mehrfach zitierten Werke, es sei noch in keinem Falle bewiesen, daß Dolinenreihen direkt über bekannten Höhlen vorkämen.

Franz Kraus weist in seiner Arbeit: „Ueber Dolinen“ (Verh. der geol. Reichsanst. in Wien, 1887) jeden anderen Erklärungsversuch des Dolinenphänomens als durch Einsturz mit aller Entschiedenheit zurück.

Da wir später noch eingehender auf diesen Forscher zurückkommen werden, so sei hier nur in kurzen Strichen die Ansicht von Kraus über die Dolinenbildung gezeichnet. Die Bedingung für letztere sind horizontale Höhlen, deren Entstehung durch das Durchsickern der atmosphärischen Gewässer in stark klüftigen und leicht löslichen Gesteinen bis auf die Grenze der impermeablen Gesteine veranlaßt werde. Die letzte Ursache des Dolinenphänomens wäre also die Spaltenbildung, die der Infiltration Tür und Tor öffnet. Die ursprünglichen Haarspalten würden durch chemische Erosion des infiltrierten Wassers zur Kluft erweitert, diese wieder durch die Wirksamkeit der mechanischen Erosion zu tunnel- oder kellerartigen Formen. Je breiter die Spannung der Höhlendecke würde, desto geneigter werde diese zum Einsturze. Anfangs stürzten nur einzelne Blöcke ab; schließlich aber breche die ganze Decke zusammen, und es entstünden so die mannigfachsten Oberflächenerscheinungen.

Die Erosionstheorie hält demnach Kraus für widerlegt. Weist er doch in gedachter Arbeit triumphierend darauf hin, daß nunmehr alle Zweifel gelöst seien und die alte Einsturztheorie, allerdings etwas modifiziert, wieder hergestellt sei; es herrsche jetzt wenigstens über den Zusammenhang der oberirdischen mit den unterirdischen Karsterscheinungen Klarheit, sodaß man imstande sei, von den einen auf die anderen Schlüsse zu ziehen.

So zuversichtlich die eben angeführte Meinung von Kraus, die Einsturztheorie habe endgültig den Sieg über die Erosionstheorie davongetragen, auch lautete, so sollte doch bald nach dieser Veröffentlichung von Franz Kraus ein erneuter Angriff auf die „wieder hergestellte“ Einsturztheorie erfolgen. Derselbe ging aus von dem Belgrader Professor der Geographie **Jovan Cvijić** und veranlaßte Franz Kraus zu einer heftigen Polemik gegen diesen Forscher. Cvijić, ein gründlicher Kenner der kroatischen und serbischen

Karstgebiete, dem eine vortreffliche Kenntnis der einschlägigen Literatur zur Seite steht, kommt auf Grund seiner eingehenden Forschungen zu wesentlich anderen Ergebnissen als die Einsturztheoretiker und weicht auch in einigen wichtigen Punkten von seinem Vorläufer v. Mojsisovics ab.

Seit 1888 für die wissenschaftliche Erkundung der Balkanhalbinsel unermüdlich tätig, hat er seine Untersuchungen über die glazialen, tektonischen und morphologischen Verhältnisse Serbiens, Bosniens, der Herzegowina, Montenegros, Albaniens, Makedoniens und Bulgariens in einer größeren Anzahl von Arbeiten niedergelegt. Schon 1899 und 1900 erschienen in serbischer Sprache die „Glazialen und morphologichen Studien aus Bosnien, der Herzegowina und Montenegro", die wichtige Beiträge zur Lösung der Karstprobleme, insbesondere der Geschichte der Poljen, enthielten und 1900 und 1901 in den Abhandlungen der k. k. geographischen Gesellschaft in Wien auch in deutscher Uebersetzung allgemeiner zugänglich wurden. Sein für die Aufhellung der Karstprobleme bedeutendstes Werk aber „Das Karstphänomen" ist im Jahre 1893 in Pencks Geographischen Abhandlungen (Bd. V. Heft 3) erschienen und stellt die erste und bis jetzt einzige zusammenfassende Monographie über das Karstphänomen dar.

Während bisher die gesamten ober- und unterirdischen Erscheinungen als Karstphänomen zusammengefaßt und die ersteren als durch die letzteren bedingt angesehen wurden, rechnet Cvijić zum Karstphänomen einzig und allein die Oberflächenerscheinungen, während die Höhlen nur insoweit Berücksichtigung finden, als sie mit jenen in Zusammenhang stehen. Die Entstehungsursachen des Karstphänomens sind eben auf der Oberfläche des Gesteins selbst zu suchen und unabhängig von den Erscheinungen der Tiefe.

Cvijić unterscheidet demnach folgende Formen des Karstphänomens:

1. die Karren: enge, tiefe Furchen, die durch schmale, scharfkantige Grate von einander getrennt werden;

2. die Dolinen, womit er die kleinen rundlichen Vertiefungen auf der Oberfläche der Kalkgebiete bezeichnet;

3. blinde Täler: langgestreckte, geschlossene Hohlformen des Bodenreliefs, und

4. die Poljen: breite und langgestreckte Hohlformen.

Die Entwickelung des Karstphänomens ist in erster Linie von der Reinheit des Kalksteins abhängig. Zwar begegnet man auch im Gebiete toniger und mergeliger Kalke den Karsterscheinungen, typisch entwickelt finden wir dieselben aber nur auf der Oberfläche des reinen, nackten Kalksteines; und zwar ist ihre Entstehungsursache im letzten Grunde einzig und allein auf die lösende Wirkung des kohlensäurehaltigen Wassers zurückzuführen. Einstürze, die allerdings den Karsterscheinungen ähnliche Formen hervorrufen können, haben mit dem Karstphänomen als solchem nichts zu tun. Sie sind lediglich sekundäre Erscheinungen. Betrachten wir zunächst die Ansichten von Cvijić über die einzelnen Oberflächenerscheinungen!

Was zunächst die Karren anlangt, so sind dieselben nach Cvijić — und auch die Vertreter des gegnerischen Standpunktes stimmen meist damit überein — unzweifelhaft allein der auslaugenden Wirkung des Wassers zuzuschreiben: und zwar komme hiefür ausschließlich das atmosphärische Wasser in Betracht; die Bildung der Karren sei weder von der Tätigkeit der glazialen Schmelzwässer abhängig, wie Ratzel meint („Über Karren", S. 6), da Karren von viel jüngerem Alter, oft nur von 1000 Jahren nachgewiesen werden könnten, noch könne bei den litoralen Karren dem Einfluß der Meeresspülung und Meeresbrandung eine große Rolle zuerkannt werden, wie dies Stache („Die liburnische Stufe". Abh. der geol. Reichs-Anst. 1889, Bd. XIII, Heft 1, S. 14) tut, da nicht in allen verkarsteten Küstengebieten Karren vorkämen.

Den breitesten Raum nimmt in der Cvijić'schen Publikation die Erörterung des Dolinenphänomens ein. Morphologisch unterscheidet Cvijić zwei Hauptgruppen:

1. Normale Dolinen und
2. Schlote oder Dolinen, die mit Höhlen in Verbindung stehen.

Erstere teilt er in:

a. schüsselförmige Dolinen, deren Durchmesser wenigstens dreimal so groß ist als die Tiefe,

b. trichterförmige Dolinen, deren Durchmesser zweimal so groß ist als die Tiefe oder dieser gleichkommt,

c. brunnenförmige Dolinen, deren Durchmesser kleiner ist als die Tiefe.

Die Schlote wiederum zerfallen in:

a. Avens: 1. zu blinden Höhlen führende Dolinen,
2. Igues, bei denen Schlot und Höhle nicht zu unterscheiden sind,

b. Light holes, senkrechte Schlote, durch die das Tageslicht in die unterirdischen Hohlräume oder Flußläufe dringen kann,

c. Dolinen vom Typus der Trebičgrotte, die mit Höhlen in Verbindung stehen, die aus einem System von mehreren (bei der Trebičgrotte von drei) durch enge Kanäle verbundenen Kammern bestehen.

Außer dieser morphologischen trifft Cvijić auch noch folgende genetische Einteilung der Schlote:

1. Typische Dolinen, durch Vertiefung mit blind endenden Höhlen nahe der Oberfläche in Verbindung gebracht,
2. verlassene Ponore,
3. Einsturzavens,
4. durch Abbröckelungsprozeß von der Höhle nach außen entstandene Avens.

Wenden wir uns nunmehr der Cvijić'schen Theorie über die Entstehung der Dolinen zu. Cvijić kehrt sich zunächst gegen die bisherigen Theorien, insbesondere gegen die Einsturztheorie, und gelangt nach eingehender Würdigung zur entschiedenen Verwerfung derselben, namentlich aus folgenden Gründen (S. 270 bis 271):

1., sei bisher noch kein einziger Fall der Bildung einer Doline durch Einsturz nachgewiesen worden; was in der Literatur als Einsturzerscheinungen ange-

führt werde, beziehe sich entweder sicher auf Schwemmlanddolinen oder sei zu ungenügend beschrieben worden, um als Beweis für die Einsturztheorie verwendet werden zu können.

2. Die überwiegende Mehrzahl der normalen, schüssel- und trichterförmigen Dolinen stehe überhaupt nicht mit Höhlengängen in Verbindung; dies zeige sich unwiderleglich an bloß gelegten, angeschnittenen Dolinen, wie er sie bei einem Eisenbahneinschnitte bei Unterloitsch in Krain beobachtet habe. Aus der der Arbeit beigegebenen Zeichnung (S. 259) geht allerdings hervor, daß unter derartigen Dolinen keine Höhlen vorkommen und der Schichtverband nirgends gestört ist. Bei diesen ist also eine Erklärung mit Hilfe der Einsturztheorie von vornherein völlig ausgeschlossen.

3. Die mit Höhlen in Verbindung stehenden Schlote, die Light-holes, die Dolinen vom Typus der Trebičgrotte und die Mehrzahl der Avens könne nicht ohne weiteres als durch Einsturz entstanden erklärt werden, am allerwenigsten die Dolinen vom Trebičtypus und diejenigen Avens, die durch eine nur enge Kluft mit Höhlen in Verbindung stehen. Es sei eben unmöglich, daß Avens von 50 m Durchmesser, die durch eine oft nicht einmal 1 m breite Öffnung mit Höhlen kommunizieren, durch Einsturz entstanden seien. Bezüglich der Light-holes läßt er allerdings die Möglichkeit der Entstehung durch Einsturz offen.

4. seien die Trümmerhalden und Schuttkegel, die häufig in den Höhlen gefunden werden, noch nicht unbedingt ein Beweis für die Einsturztheorie, denn dieselben könnten ja ganz gut durch andere Ursachen, insbesondere durch Einschwemmung entstanden sein, namentlich dort, wo über ihnen eine Doline auftritt, was überdies nur in zwei Fällen festgestellt sei.

Zum Schlusse wendet sich Cvijić auch noch gegen die Tietze'sche Erwägung, daß in höhlenreichen Gegenden auch notwendig Einstürze vorkommen müßten und daß die Spuren solcher Einstürze doch nur in den Karsttrichtern der Oberfläche zu suchen seien, daß also eine dolinenreiche Gegend eine höhlenreiche

zur Voraussetzung haben müsse (s. S. 76). Nun sei zwar der Höhlenreichtum der adriatischen Karstländer in der Tat ein sehr großer, trete aber hinter dem Dolinenreichtum weit zurück. Nach Schmidl's Berechnung, die Cvijić allerdings für zu niedrig erklärt, seien nur $\frac{3}{10000}$ der Landoberfläche der Adelsberger Gegend von Höhlengängen unterminiert, während wir etwa $\frac{1}{12}$ des Landes, also 270 mal mehr, von Dolinen eingenommen sehen. Würden also selbst alle Höhlen einstürzen, so dürften immer nur $\frac{3}{10000}$ der Landoberfläche in Dolinen umgewandelt werden; Dolinenreichtum und Höhlenreichtum könnten mithin in keinem ursächlichen Zusammenhang stehen; die Voraussetzung Tietze's sei also irrig.

Die Bildung der Dolinen geht nach Cvijić vielmehr folgendermaßen vor sich: Die Vorbedingung für die Entstehung der Dolinen ist einerseits, wie schon erwähnt, die Löslichkeit des kohlensaueren Kalkes im kohlensäurehaltigen Wasser, andererseits das häufige Vorkommen von horizontalen und vertikalen Spalten, Fugen und Klüften im Kalksteine. Diese letzteren entstanden durch verschiedene Vorgänge, insbesondere durch Abwechselung von Erwärmung und Abkühlung und durch chemische Verwitterung; sie werden nun durch das einsickernde Wasser teils direkt mechanisch, teils durch dessen Kohlensäuregehalt allmählich zu Röhren erweitert. Indem nun an diesen Röhren das atmosphärische Wasser in die Tiefe versiegt, findet dessen oberflächliche, abspülende und erodierende Tätigkeit ihr Ende, die Abdachung endet also an der entstandenen Schlundfuge, während in undurchlässigen Gebieten durch Abspülung und Erosion eine Abdachung bis zum Meere hin geschaffen wird. Der Eingang zur Röhre wird nun durch die verschiedenartige Tätigkeit des oberflächlichen Wassers allmählich erweitert und trichterförmig ausgestaltet, und wir haben die normale Doline.

Hierher rechnet Cvijić auch die geologischen Orgeln. In Gegenden, die reich an Zersetzungs-

lehm sind, wird der auf die soeben geschilderte Weise entstandene Trichter mit Verwitterungsmaterial ausgefüllt, ja er verschwindet schließlich ganz, und dann liegt die geologische Orgel vor. Auch unter einer Bedeckung mit fremdem Material kann der Kalk vom Wasser angegriffen und gelöst werden; das Hangende sinkt dann nach und es entstehen die geologischen Orgeln mit fremder Ausfüllung, oder wenn das nachsinkende Material weniger voluminös ist als das gelöste, Dolinen mit fremder Ausfüllung. Genetisch und morphologisch sind also die geologischen Orgeln nur durch die chemische Beschaffenheit des Kalksteines oder durch Ueberlagerung mit mächtigem Zersetzungslehm modifizierte Dolinen. Der einzige wesentliche Unterschied zwischen beiden Formen ist nur der, daß erstere Formen der Erdoberfläche, letztere bloß Formen der Kalkoberfläche sind (S. 272, 263 - 67).

Die geschilderten Entstehungsursachen sind indes nicht die einzigen, wenn sie auch für die normalen Dolinen zum weitaus größten Teil in Betracht kommen. Auch dem Schnee mißt Cvijić bei der Bildung der Dolinen eine große Bedeutung zu. Schon ganz unbedeutende Depressionen im Hochgebirgskarste begünstigen die Schneeakkumulation und geben so den Anstoß zur Bildung von Dolinen. Da nämlich der in der kalten Jahreszeit angesammelte Schnee im Sommer in kurzen Intervallen schmilzt, so ist leicht einzusehen, daß in solchen Dolinen die subaërische chemische Erosion intensiver wirkt als in den übrigen Dolinen. Darauf weisen auch die oft glatten, durch das schmelzende Wasser erodierten, in der Regel aber durch Karren zerfressenen Gehänge derartiger Dolinen hin. Diese Schneedolinen sind oft noch lange, nachdem der Schnee im übrigen Lande geschmolzen ist, mit Schnee ausgefüllt, der so eine stete Quelle des Sickerwassers bildet (S. 274).

Auch an der Grenze des Kalksteines und undurchlässiger Gesteine können sich Dolinen bilden, indem die subaërische Erosion des Wassers die aus undurchlässigen Gesteinen zusammengesetzten

Böschungen abspült und im Kalksteine durch Auflösung schmale Absorptionsspalten schafft (S. 274).

Daß endlich auch Dolinen, die der äußeren Form nach mit den echten Dolinen identisch sind, hier und da auch durch Einsturz der Höhlendecke entstehen können, ist bereits erwähnt. Freilich bezeichnet Cvijić diesen Fall als höchst selten; aber immerhin haben diejenigen Unrecht, die Cvijić vorwerfen, daß er die Entstehung der Dolinen durch die chemische Erosion in übertriebener Einseitigkeit betone. Namentlich bei der Erklärung der Schlote rechnet er mit der Möglichkeit von Einstürzen in weitgehendem Maße. Seine Ansichten über diesen letzteren Dolinentypus faßt er kurz folgendermaßen zusammen:

Die Avens (mit kleinen, blind endenden und nahe der Oberfläche gelegenen Höhlen in Verbindung stehende Dolinen) entstehen aus kleinen trichterförmigen Erosionsdolinen, die bei ihrem Wachstum in die Tiefe auf eine Höhle treffen, so daß die Vertiefung schneller vor sich gehen kann. Auf diese Weise erweitert sich die Absorptionsspalte zum Kanal, durch den die unlösbaren Zersetzungsprodukte in die Höhle eingeschwemmt werden, so daß sich in derselben Schuttkegel aus eingeschwemmten Material bilden. Die ursprünglich nur schmale Verbindung zwischen Doline und Höhle erweitert sich mit der Zeit durch Abbröckelung, und die Schuttkegel enthalten nun auch von den Wänden abgelöste Felsbrocken. — Die theoretische Möglichkeit der Bildung der Avens durch Einsturz gibt Cvijić durchaus zu, indem er auf die Jama na Prevali bei St. Kanzian verweist, bei welcher der durch Sickerwasser unterstützte Abbröckelungsprozeß der Höhle solange nach oben fortgeschritten sei, bis er die Oberfläche als kleines Loch erreichte (S. 276).

Die Dolinen vom Trebičtypus entstehen aus einem vertikalen System von Diaklasen, die sich von der Oberfläche bis zum Grundwasser oder bis zu den wasserführenden Kanälen fortsetzen und deren Abschluß an der Landoberfläche kleinere oder größere Dolinen bilden. Die Doline an der Oberfläche ent-

steht auf die gewöhnliche Weise, die Diaklasen werden durch die chemische und mechanische Wirkung des Sickerwassers allmählich zu Kanälen erweitert. Abbröckelungs- und Auflösungsprozesse sind in diesen Dolinen gar nicht selten. Namentlich dort, wo das Grundwasser oder die wasserführenden Kanäle näher der Oberfläche liegen und die Dolinen keine große Tiefe erreichen, können dieselben leicht zur Umwandlung von Dolinen vom Trebičtypus in Light holes führen. Die größte Anzahl der letzteren ist aber wahrscheinlich durch Einsturz gebildet. Belege dafür sind der Abîme von Padirac und der Light hole von Giebert. Durch Deckeneinbrüche entstehen die Light holes namentlich dann, wenn die unter denselben befindlichen Höhlen von einem Fluß durchflossen sind, der das Trümmermaterial fortschafft, so daß sich der Einsturz gleich bis an die Oberfläche fortpflanzen kann. Auch über trockenen Hohlräumen von großer Ausdehnung ist die Bildung von Light holes durch Einsturz nicht ausgeschlossen (S. 276—77).

Zu den Karstphänomenen rechnet Cvijić auch die Schwemmlanddolinen. Diese Gebilde, die so oft als Beweis für die Einsturztheorie angeführt worden seien, seien allerdings Einstürze, wie schon aus ihren scharfen Konturen und oft frischen Böschungen hervorgehe. Allein diese Einstürze seien nur sekundäre Vorgänge. Die Ursachen derselben sind darin zu suchen, daß der das Schwemmland unterlagernde Kalk durch die chemische Erosion ausgelaugt wird, worauf die hangenden Lehmschichten nachstürzen. Der primäre Vorgang ist also auch hier die Bildung einer normalen Doline unter der Decke des Alluviallehmes (S. 251—57).

Was endlich die Verteilung der Dolinen anlangt, so weist Cvijić darauf hin, daß sie hauptsächlich auf ebenen oder sonst geneigten Kalkflächen (Karstplatten) vorkommen, in denen das Wasser einsickern muß, und daß sie meist ohne bestimmte Regel angeordnet sind. Wo lineare Anordnung (ein Umstand, dem manche Forscher, wie Reyer, großes Gewicht beilegten) bemerkbar sei, scheinen die Dolinen

an Brüche oder Höhlungen gebunden zu sein. Indes dürften aus einer solchen linearen Anordnung keineswegs verallgemeinernde Schlüsse gezogen werden.

Weiter wendet Cvijić sein besonderes Augenmerk den hydrographischen Verhältnissen des Karstes und der Entstehung der Karstflüsse zu. Trockenheit an der Oberfläche und unterirdischer Wasserreichtum sind Eigentümlichkeiten des Karstes, da die Niederschläge von dem klüftigen Gestein sofort aufgesaugt und in die Tiefe bis zu undurchlässigen Schichten geführt werden. Saugt der Kalkboden die Niederschläge nicht sofort auf, so sammeln sie sich zu kleinen Rinnsalen, die jedoch ihre Wasser an Schlundlöcher abgeben, die sie in die Tiefe abführen. Am Rande des Karstes treten diese Gewässer, die Cvijić mit Recht mit dem Grundwasser identifiziert, oft in mächtigen Quellen auf. Er unterscheidet bei den Karstflüssen:

1. Schwache Flüsse und Bäche, die nach längerem oder kürzerem Laufe ihr Wasser an Ponore abgeben, und nennt sie Schlundflüsse. Der Wasserverlust erfolgt meist in der Weise, daß der Fluß von einer bestimmten Stelle seines Laufes an flußabwärts sich verkleinert, indem er seine Wasser allmählich an die Schlünde verliert.

2. Wasserreiche Flüsse. Dieselben treten meist dort auf, wo das Bett bis auf undurchlässiges Gestein eingegraben ist; dieselben werden zum größten Teil durch Grundwasserzuflüsse von unten gespeist und führen deshalb auch dann noch Wasser, wenn andere Flüsse in undurchlässigem Gestein vertrocknen würden, da Verdunstung der atmosphärischen Gewässer im Karstgebiete infolge ihres raschen Verschwindens nach dem Innern nur in geringem Masse stattfindet. Häufig sind bei den Karstflüssen Wasserfälle. Cvijić unterscheidet folgende Arten:

1. Quellkaskaden, wenn der Ort, wo der Fluß hervorbricht, über der Talsohle liegt.

2. Ponorkaskaden, infolge rückschreitender Erosion an Ponoren gebildet.

3. Travertinkaskaden, entstanden durch Ablagerung von Kalktuff inmitten der Flußläufe.

4. können Wasserfälle entstehen, wenn der Fluss aus hartem Gestein in weiches übertritt; an den Rändern des Karstgebietes können diese Fälle durch rückschreitende Erosion in den harten Kalkstein verlegt werden.

Die geschilderten hydrographischen Eigentümlichkeiten des Karstes sind auch von bestimmendem Einfluß auf die Talbildung. Bei der Armut an rinnendem Wasser sind Karsthöhlen auch naturgemäß arm an normalen Tälern mit gleichsinnigem Gefälle. An ihre Stelle treten meist blinde Täler und ähnliche geschlossene Hohlformen (von Penck Wannen genannt) auf. Nach dem Längsprofil unterscheidet Cvijić folgende Typen:

1. Sacktäler mit oberem Talschluß, meist am Rande der Karstplateaus,

2. blinde Täler mit beiderseitigem Talschluß,

3. halbblinde Täler, bei denen der untere Talschluß so erniedrigt ist, daß ihn die aufgestauten Wassermassen gelegentlich überfluten können,

4. trockene Täler, bei denen wieder folgende Arten zu unterscheiden sind:

a) Flüsse, die ihr Wasser an Ponore abgeben, sind im unteren Teile ihres Bettes trocken und wird dieses meist nur zur Zeit der Schneeschmelze von Wasser durchflossen,

b) in ihrer ganzen Erstreckung trockene Täler, die durch zahlreiche Sauglöcher und Dolinen ganz porös sind und gegenwärtig gar nicht mehr oder nur selten Wasser führen,

c) tote Wasserstrecken, wo ein Karstfluß in Schlünden versiegt und weiter talwärts durch im Bette auftretende Quellen wieder wasserführend wird.

Blinde, halbblinde und trockene Täler sind in der Regel Teile eines unterbrochenen Stromtales.

Bezüglich der Genesis der Karsttäler unterscheidet Cvijić zweierlei Ursachen, primäre und sekundäre. Primär entstehen Karsttäler dadurch, daß ein Fluß aus impermeablem Gestein ins Karstgebiet

eintritt; in diesem Falle verschwindet er in dessen Spalten und Ponoren und kann seine talbildende Tätigkeit nicht mehr fortsetzen; auch durch Deckeneinbruch kann ein blindes Tal aus einem Höhlengange entstehen. Sekundäre Talbildungen entstehen durch Ausbildung eines Ponors im Flußbette; dadurch wird die weitere Erosion des unteren Teiles desselben verhindert, Auch durch die Tendenz der Ponore, flußaufwärts zu erodieren, können blinde Täler gebildet und dadurch immer weitere Strecken eines Flußlaufes trocken gelegt werden. Endlich können auch tektonische Ursachen von bestimmendem Einfluß sein, indem durch tektonische Bewegungen dem Flusse ein Hindernis entgegengesetzt wird (S. 283—291).

Scharf zu trennen von den blinden Tälern sind die Poljen, sowohl in morphologischer wie in genetischer Hinsicht. Die Poljen sind große, flache, breitsohlige Karstwannen, deren Gehänge sich scharf von der Sohle abheben, und die eine ausgeprägte dem Schichtstreichen parallele Längenerstreckung aufweisen. Ihr Boden ist nach keiner Richtung abgedacht. Von den Dolinen sind sie nur durch ihre mit größeren Dimensionen, durch die Längserstreckung und das Vorhandensein einer scharf ausgesprochenen Bodenfläche unterschieden. Die Uebergangsform zwischen Doline und Polje ist die Uvala (Karstmulde), deren Boden noch uneben ist. Die Uvala ist die Keimform des Poljes, das aus dem Zusammenwachsen mehrerer Uvalas entsteht. Auch die Uvala folgt wie die Doline dem Schichtstreichen oder Linien schwächeren Widerstandes. Gebilde bis zu 1 km Durchmesser rechnet Cvijić noch zu den Dolinen, große Hohlformen, die wie das Livanjskopolje einen Flächeninhalt bis zu 400 km^2 umfassen können, bezeichnet er als Poljen.

Was die äußere Form der Poljen anlangt, so haben sie meist längliche oder ovale Form, wobei die Breite von der Länge mindestens um das Doppelte übertroffen wird; selten sind rundliche Formen. Auch unregelmäßig gestaltete, zerzackte Poljen kommen vor.

Die Gehänge sind steil, die relative Höhe gegenüber der Poljensohle stark variierend. Der Boden der Poljen ist flach, meist nach verschiedenen Richtungen abgedacht, so daß fast jeder Ponor sein eigenes Zuflußgebiet hat. Haben nahe beieinander liegende Poljen dieselbe Neigung, so kommunizieren sie durch unterirdische Flüsse. Der Boden ist in der Regel mit Zersetzungslehm, Schlamm- und Torfmoorbildungen bedeckt, in den bosnischen Poljen meist mit neogenen, lakustren Bildungen, die auf der Gebirgsunterlage diskordant aufliegen.

In hydrographischer Beziehung unterscheidet Cvijić trockene Poljen, periodisch inundierte und perennierende Seepoljen. Die ersteren finden sich in verhältnismäßig größerer Höhe und sind meist seicht; die periodisch inundierten Poljen liegen im Verhältnis zu jenen meist tiefer; dieser Klasse gehören weitaus die meisten Poljen an. Hierher sind zu rechnen: Das Nikšićkopolje und als besonders typische diejenigen von Planina, Laas und der Zirknitzer See. Dieser letztere liegt in einer Verwerfungsspalte, die sich nach Norden zur Rakbachschlucht und zum Polje von Planina, nach Südosten zum Laaser Polje fortsetzt (s. das Längenprofil der innerkrainischen Kesseltäler in Kraus' Höhlenkunde, S. 149). Sein Becken wird durch zahlreiche Estavellen, Löcher und Dolinen gespeist, entwässert durch eine Anzahl von Ponoren. Die Gewässer des Zirknitzer Sees kommen nach einem unterirdischen Laufe von 2400 m im blind endenden Tale von St. Kanzian als Rakbach wieder zum Vorschein.

Die dritte Klasse, die Seepoljen, treten nur in geringer Anzahl auf. Diese tiefgelegenen Hohlformen werden meist durch Grundwasserkanäle gespeist, erhalten aber auch, wie der Vrana-See bei Zara und der Janina-See in Epirus oberirdischen Zufluß. Endlich unterscheidet Cvijić noch aufgeschlossene Poljen mit oberirdischem Abfluß, in denen aber auch Ponore vorkommen, die also eine Kombination von echten Tälern und Poljen bilden.

Zur Bewässerung der Poljen tragen außer meist kleinen Flüssen Quellen, teils Schicht- teils Spaltquellen, sowie Ponore und Estavellen bei. Ponore sind Fugen und Spalten von meist sehr geringem Durchmesser; Felsponore mit größerem Durchmesser, wie der Ponor Globina im Laaser Polje (Querschnitt ca. 30 m) sind seltener. Estavellen sind dolinenförmige Gebilde, die abwechselnd Wasser ausstoßen und verschlucken; bei starkem Regen funktionieren sie als Speilöcher, hört die Wasserzufuhr auf, so sind sie als Ponore tätig.

Die Ursachen des Wasserreichtums der Poljen sind ihre tiefe Lage und die Grundwasserverhältnisse im Kalke, da die Quellen, Höhlenflüsse und Estavellen in dieser Tiefe hervorbrechen. Können die Ponore nicht die gleiche Wassermenge abführen, die ihnen zufließt, so entstehen die periodischen Inundationen; die Eintrittszeit und Dauer der Inundationen ist von dem Eintritt und der Menge der Niederschläge abhängig, fällt also in die Regenzeit oder Schneeschmelze, weshalb manche Poljen, wie der Zirknitzer See zwei bis dreimal im Jahre inundiert werden.

Wie die Entstehung der Poljen im einzelnen zu denken sei, darüber konnte sich Cvijić selbst noch kein abschließendes Urteil bilden. Doch scheint er auch hier im allgemeinen geneigt, die Poljen für Erosionsgebilde zu halten, die durch chemische Ausräumung entstanden und deren Boden nachträglich mechanisch eingeebnet wurde. Er nimmt an, daß sie meist durch Zusammenwachsen mehrerer Uvalas gebildet wurden. Die Denudation vertieft die Karstmulden und trägt die Grate zwischen ihnen ab; sie kommen dadurch ins Grundwasserniveau und es entstehen zunächst Seen, weil der Zufluß größer als der Abfluß ist, denn die Ponore sind noch nicht groß genug oder verstopfen sich. Nach Ablauf der Seen entstanden Flüsse, und beide haben den Boden der Poljen allmählich eingeebnet. Theoretisch gibt Cvijić auch andere Entstehungsmöglichkeiten zu; so möge bei manchen Poljen eine tektonische Veranlagung die Ausbildung be-

fördert haben, indem die Ausräumung an Bruchlinien erfolgte. Auch die Bildung von Poljen durch andere Krustenbewegungen gesteht er zu. Entstehung durch Einbruch dagegen scheint er nirgends anzunehmen. In genetischer Hinsicht unterscheidet Cvijić demnach:

1. echte Mulden und Grabenpoljen. Treten im Karste relative Hebungen ein, so versiegen in allen gehobenen Gebieten Flüsse und Spülwässer wegen der Durchlässigkeit des Gesteines, und es entstehen tektonische Synklinal- oder Muldenpoljen. — Auch durch Grabenversenkung können Poljen entstehen: Grabenpoljen.

2. Abriegelungspoljen: Durch Hebung des unteren Teiles eines Flußtales wird dieses abgesperrt und die fließenden Gewässer versiegen unter diesem Querriegel: halb tektonische, halb erosive Täler.

3. Aufbruchspoljen: Durch Erosion und Denudation von Antiklinalen werden unter normalen Verhältnissen Aufbruchstäler gebildet. Im Karstgebiet wird dieser Vorgang dadurch modifiziert, daß das erodierende und denudierende Wasser in seinem Verlaufe versiegte, die entstandene Hohlform aber geschlossen blieb (S. 291—313).

Es ist Cvijić' Hauptverdienst, die große Rolle, welche die chemische Erosion bei der Ausbildung der Karstphänomene gespielt hat, mit allem Nachdruck hervorgehoben zu haben. Und wenn man auch zugeben muß, daß Einstürze häufiger vorkommen, als Cvijić einzugestehen vermag, so bedeuten seine Forschungsergebnisse doch zweifellos den endlichen Sieg der Erosions- oder genauer ausgedrückt der Korrosionstheorie. Es kann heute nicht mehr ernstlich bestritten werden, daß die Grundursache der Karsterscheinungen die chemische Denudation ist. Einstürze können als sekundäre Erscheinungen bei der endgiltigen Lösung der Karstprobleme nicht mehr ins Gewicht fallen.

Die Einsturztheoretiker waren indessen noch nicht gewillt, widerspruchslos das Feld zu räumen. Gegen

die Anschauungen von Cvijić wendet sich mit aller Schärfe der uns schon bekannte k. k. Regierungsrat **Franz Kraus** in seiner Höhlenkunde (Wien 1894). Wie schon der Titel ankündigt, beschäftigt sich dieses Werk nicht ausschließlich mit dem Karstphänomen, sondern zieht die gesamte Höhlenbildung in Betracht. So werden außer den später gebildeten natürlichen Höhlen auch die ursprünglichen und künstlichen Höhlen besprochen. Für uns kommen hier nur die später gebildeten natürlichen Höhlen in Betracht und zwar auch nur, soweit sie im Kalkgebirge vorkommen.

Im Gegensatz zu Cvijić rechnet Fr. Kraus also auch subterrane Erscheinungen zum Karstphänomen, das nach seiner Meinung überhaupt erst durch das Zusammenwirken der oberirdischen mit der subterranen Erosion [1]) zu erklären ist (S. 115). Ehe wir daher in Besprechung der Kraus'schen Ansichten über die Ursachen des Karstphänomens eingehen, wollen wir zunächst seine Theorie der Höhlenbildung im Kalkgebirge kennen lernen. Die Grundbedingung für die Höhlenbildung im dichten Kalke ist die Klüftigkeit des Gesteins; diese Spalten, die allenthalben das submarin oder sublakuster gebildete Gestein durchziehen, sind entstanden entweder durch Volumenverminderung beim Austrocknungsprozesse oder durch Brüche, die hauptsächlich dem horizontalen Gebirgsschub zuzuschreiben sind und von Kraus als Erdbebenklüfte bezeichnet werden, da sich ihre Bildung durch Erschütterungen (tektonische Erdbeben) bemerkbar mache. Diese Klüftigkeit ist nun die Ursache, daß die Infiltration tief ins Kalkgebirge einzudringen vermag. Das eingedrungene Wasser muß aber auch zirkulieren können, um eine subterrane Erosion zu erzeugen. Hiezu kommt noch eine dritte Vorbedingung für die Klufterweiterung: die leichte

[1]) Als oberirdische Erosion betrachtet Kraus nur jene, bei welcher der Abtrag und die Abschwemmung ausschließlich der Oberfläche entlang erfolgt. Sobald sich die Tagwasser unter die Erde verlieren (gleichviel ob in weite Höhlen oder in schmale Klüfte) wird die Erosion zur subterranen.

Löslichkeit des Gesteins im kohlensäurehaltigen Wasser. Kluftbildung ist also der primäre, Erweiterung der Klüfte zu Höhlen durch die mechanische Erosion der sekundäre Vorgang. Zumeist wirken hiebei Erosion und Korrosion zusammen; häufig aber spielt die eine im Vergleich zur anderen nur eine untergeordnete Rolle. So wirkt in Wasserhöhlen mit Flußzirkulation besonders die (mechanische) Erosion, in Höhlen, welche durch kohlensäurehaltige Quellen oder indifferente Thermen ausgelaugt wurden, die (chemiche) Korrosion. Auch kalte Gewässer wirken korrodierend auf die Höhlenwände, wenn auch in weit geringerem Maß als die Thermalgewässer.

Erosionshöhlen können sowohl einen horizontalen als schrägen, bis zu einem senkrechten Verlauf haben. Diese letzteren entstehen dadurch, daß die schmalen Spalten, durch welche die Einsickerung begonnen hat, sich mit der Zeit erweiterten und zu Schlünden wurden, den sogenannten Erosionschlünden. Die mehr oder minder senkrechte Form hängt daher von der ursprünglichen Verteilung der Risse und Klüfte im Gestein ab, wenn auch jene durch die Gewalt der einstürzenden Gewässer verändert werden kann. Alte steilabfallende Schlundhöhlen findet man oft hoch im Gebirge in zur Zeit wasserlosem Gebiete, was durch die Annahme erklärt werden kann, daß seit der Zeit ihrer Bildung wesentliche orographische Umwälzungen, insbesondere gegen das Ende der Tertiärzeit und während des Diluviums, stattgefunden haben.

Auch die Bildung der mehr horizontal verlaufenden Schlundhöhlen ist oft auf analoge Weise trotz der abweichenden Form zu erklären, da sich Uebergänge von den senkrechten bis zu den horizontalen Formen finden, sodaß eine genaue Grenze zwischen denselben nicht zu ziehen ist. Freilich gibt es keine ganz horizontalen Schlundhöhlen, da fließendes Wasser stets ein gewisses, wenn auch nur minimales Gefälle voraussetzt. Bei Flußschwinden am Rande eines Kesseltales kommt meist erst ein Absturz oder schräger Abfall; dann erst folgt die horizontale Wasser-

höhle. Dieser Abfall ist durch die Art und Weise bedingt, wie sich die Kesseltäler bilden, die zum größten Teil nichts anderes als großartige Einsturzkessel sind, deren Sohle von anstehendem Gesteine durch das Deckenbruchmaterial ausgefüllt ist, welches seinerseits durch Sedimente überlagert wird. Die Blöcke des Auffüllungsmaterials werden durch die Gewalt des fließenden Wassers zum Teil in die Wasserhöhle hineingeschwemmt, sodaß sich ein mehr oder minder sanfter Abfall bildet. Zum Teil ragt die Oeffnung der Wasserhöhle über das Einbruchsmaterial hervor (die Mündung der Megale Katabothra am Kopaissee beispielsweise ist 25 Meter hoch), zum Teil wird der Eingang ganz verlegt, so daß die Abzugsgewässer des Kesseltales ihren Weg durch die Zwischenräume der einzelnen Blöcke nehmen müssen. Oberhalb dieser Zwischenräume bilden sich dann trichterförmige Vertiefungen, Saugtrichter oder Sauglöcher, die jedoch trotz ihrer übereinstimmenden Form von den Einsturzdolinen zu trennen sind.

Von den Erosionshöhlen unterscheidet Kraus nach Schmidl's Vorgang morphologisch die trockenen Grotten und bezeichnet damit mehr oder minder horizontal verlaufende Höhlen, in denen kein Wasser mehr zirkuliert. Was ihre Entstehung anlangt, so sind sie ursprünglich Wasserhöhlen gewesen und auf dieselbe Weise entstanden wie diese; erst später wurden sie trocken gelegt, indem entweder der Zufluß ausblieb oder das Wasser sich einen anderen, leichteren Ausweg suchte. Diese trockenen Grotten sind auch die Hauptstätten der Tropfsteinbildung, über deren Wesen sich Kraus eingehend verbreitet.

Wenn wir endlich noch die Korrosionshöhlen kurz in den Kreis unserer Betrachtung ziehen, so haben wir die Theorie von Kraus über die Bildung der verschiedenen Höhlen, so weit sie für die Erklärung des Karstphänomens in Betracht kommen, erschöpft. Daß die Korrosion häufig mit der mechanischen Erosion zusammenwirkt, ist bereits erwähnt. Es gibt aber nach Kraus auch Höhlen, bei deren Bildung der Korrosion allein der Hauptanteil zufällt,

von denen aber nur 3, darunter die Krausgrotte bei Gams, bekannt sind. Diese letztere wurde durch Gesteinsumwandlung des kohlensauren Kalkes in Gips gebildet, und diese Umwandlung selbst ist auf die Wirkung einer schwefelwasserstoffhaltigen Therme zurückzuführen. Wir hätten also bei der Bildung der Krausgrotte ähnliche Vorgänge gehabt, wie sie Virlet und Morlot in verallgemeinernder Weise für die Bilddung der Höhlen überhaupt annahmen. Die Präexistenz einer Kluft, die die Thermalwässer habe aufsteigen lassen, nimmt Kraus auch für diese Höhlen an.

Nachdem so Kraus seine Ansichten über die Höhlenbildung entwickelt hat, wendet er sich der Erklärung der oberirdischen Karsterscheinungen zu. Dieselben sind — um das gleich vorwegzunehmen — „durch das Zusammenwirken der oberirdischen mit der subterranen Erosion einzig und allein zu erklären. In den Plateaugebirgen, welche aus klüftigen und dadurch permeablen Gestein aufgebaut sind, findet die subterrane Erosion mehr Angriffspunkte als in impermeableren Gesteinen und sie arbeitet daher mit an der Zerstörung des Gebirges. Durch das Hinzutreten einer anderen Ursache muß auch die Wirkung eine andere werden, und diese äußert sich in der erzeugten veränderten Reliefform und im abweichenden Talbildungsprozesse, der durch die subterrane Erosion vorbereitet und durch die oberirdische vollendet wird. Der vollendete Talbildungsprozeß bildet gewissermaßen den Abschluß des Karstprozesses (S. 115).“ Diesen letzteren Gedanken von dem Ende des Karstprozesses hat übrigens, wie bereits früher erwähnt (s. Seite 69), auch schon v. Mojsisovics ausgesprochen.

Für die gesamten oberirdischen Erscheinungen, stellt nun Kraus folgende Typen auf, deren Nomenklatur er zur Beseitigung der fortwährenden Mißverständnisse zur Annahme empfiehlt:

1. Einsturzerscheinungen:
   a. Einsturzschlünde,
   b. echte Dolinen (Einsturzdolinen).

2. Erosionserscheinungen:

   a. Erosionsschlünde (Naturschachte),

   b. unechte Dolinen im anstehenden Gestein (Karsttrichter),

   c. unechte Dolinen im lockeren Materiale (Seedolinen, Sauglöcher, Schwemmlandtrichter).

Alle oberirdischen Karsterscheinungen sind, wie aus dieser Einteilung hervorgeht, entweder durch Einsturz — und nur solche rechnet Kraus dem Dolinenphänomen zu — oder durch Erosion d. h. durch mechanische Erweiterung der mit Höhlengängen in Verbindung stehenden Spalten und Klüfte entstanden.

Betrachten wir zunächst die Einsturzerscheinungen, so ist zu unterscheiden zwischen Einsturzschlünden und Einsturzdolinen. Jene entstehen entweder durch sukzessive Abblätterung der Decke oder durch einmaligen plötzlichen Deckenbruch oder durch Senkung steil aufgerichteter Schichten in den Deckenpartien. In ersterem Falle bricht an besonders geeigneten Stellen der Decke ein Teil ab; weitere Einstürze folgen, bis sich eine Kuppel bildet, deren Höhe nahezu die Bodenfläche erreicht; wird die Spannung der Decke auf diese Weise zu groß, so bricht auch der letzte Rest nieder und der Schlund ist fertig. Im zweiten Falle wird gewöhnlich die Höhle selbst, bisweilen auch ein Teil der Schlundröhre durch das Trümmermaterial ausgefüllt, vorausgesetzt, daß das Deckengewölbe die nötige Dicke besaß. Das Wasser der Höhle wird auf diese Weise gezwungen, das Hindernis, das es nur selten zu beseitigen vermag, zu umgehen, wodurch ein neuer Höhlengang entsteht. Beispiele hiefür bieten die Adelsberger Grotte und die Höhle unter dem Tindoul de Vayssière (Frankreich). Solche Trümmerkegel sind nach Kraus stets sichere Anzeigen von Depressionen auf der Oberfläche, und zu den besten Beweisen für die Einsturztheorie gehören die „Fürst Windischgrätz-Höhlen“ zwischen Adelsberg und Zirknitz und die Lančarevec-Grotte bei Groß-Ottok. Der dritte Fall, Bildung von Einstürz-

schlünden durch Nachsitzen von senkrechten Schichten, ist sehr selten; bei schräg gelagerten Schichten kann ein Nachgleiten eintreten und so Schlünde entstehen, wie dies der Fall bei der Stara apnenca bei Adelsberg ist.

Alle diese Einsturzschlünde können nun durch meteorologische Einflüsse zu echten Dolinen oder Einsturzdolinen werden. Durch Verwitterung, Frostwirkung, mechanische oder chemische Erosion verliert der Schlund allmählich seine Steilwände, der Boden wird anfänglich durch gröbere Trümmer, später durch kleinere Gesteinsstücke und Schwemmprodukte angefüllt, so daß die Trichterform mehr und mehr der Schüsselform weicht und unter Umständen ganz verwischt werden kann. Die Einsturzdoline ist also eine modifizierte Form des Einsturzschlundes; die Ursache beider Erscheinungen ist die gleiche, nur die Form ist verschieden. Dennoch aber glaubt Kraus, um den vielfachen Mißverständnissen ein Ende zu machen, die Einsturzschlünde scharf von den Einsturzdolinen oder echten Dolinen trennen zu sollen; und für diese letztere Form allein will Kraus das Wort „Doline" angewendet wissen (S. 115 120, 61—63).

Von diesen beiden Einsturzerscheinungen sind die reinen Erosionserscheinungen zwar weniger der äußeren Form, vielmehr aber ihrer Entstehung nach verschieden. Bei den reinen Erosionsgebilden unterscheidet Kraus folgende 3 Arten: Erosionsschlünde, Karsttrichter oder unechte Dolinen (Erosionstrichter) und Schwemmlandtrichter.

Die Erosionsschlünde entstehen durch Erweiterung von engen, mit unterirdischen Höhlen in Verbindung stehenden Spalten, durch die das Infiltrationswasser eindringen kann. „Wo keine Wasserzirkulation stattfinden kann, bildet sich kein Erosionsschlund." Hat sich einmal ein solcher Erosionsschlund gebildet, dann werden die atmosphärischen Gewässer schließlich mehr und mehr diesem Schlunde zustreben und den benachbarten Spalten das Infiltrationswasser entziehen, da jener mit seiner zunehmenden Erweiterung auch mehr Wasser aufnehmen kann. Es werden

sich förmlich oberirdische Erosionsrinnen bilden, die das Wasser dem Schlunde möglichst rasch zuführen; auch in der Nähe fließende permanente und periodische Bäche werden sich ihre Wege dorthin bahnen, so daß die ursprünglich enge Spalte derart erweitert wird, daß sie schließlich, zumal wenn sie senkrecht abstürzt, in der äußeren Form ganz und gar den Einstruzschlünden gleicht. Diese Uebereinstimmung der äußeren Form ist nach Kraus auch die Ursache, warum manche Forscher die beiden Erscheinungsformen identifizieren und von einem Einsturze überhaupt nichts wissen wollen. Es ist überhaupt nicht immer leicht, die Entstehungsursache eines Schlundes mit Sicherheit zu erkennen, da sich gerade bei ihnen die Spuren ihrer Entstehung leicht verwischen. Zumal bei den Erosionsschlünden verschwinden die Erosionsspuren infolge allmählichen Abbröckelns und Nachstürzens von Gesteinstrümmern häufig gänzlich.

An den Mundlöchern der Erosionsschlünde bilden sich meist trichterförmige Weitungen, die große Aehnlichkeiten mit den echten primären Dolinen aufweisen. Diese Weitungen entstehen durch äußere Einflüsse wie Frostwirkung, Verwitterung und Abschwemmung; die Schlundmündung verliert so ihre Steilwände und nähert sich mehr und mehr der Trichterform. Häufig sind solche Klüfte verschlämmt, so daß die Verbindung mit den darunter befindlichen Hohlräumen unterbrochen ist. Diese Art von Trichtern nennt Kraus Karsttrichter oder Erosionstrichter. Sie bilden sich an der oberen Grenze des anstehenden Gesteines, füllen sich häufig durch Lehm oder Erde völlig aus und sind dann gar nicht mehr zu erkennen, wenn sie nicht in Steinbrüchen, Eisenbahneinschnitten u. dgl. angefahren werden. Oft aber bleiben sie auch dort erkennbar, wenn sie mit losem Material überlagert sind, insolange die Kluft offen bleibt, welche die Schwemmprodukte nach der Tiefe abzuführen vermag. Auch Kraus weist darauf hin, daß an den Karsttrichtern häufig reihenförmige Anordnung bemerkbar sei. Das sei nur natürlich, denn im Verlaufe weit sich hinziehender Bruchspalten finde

die Infiltration viele Angriffspunkte und diesem Sinne müssen auch die Mündungstrichter an diesen Angriffspunkten angeordnet sein.

Außer diesen Mündungstrichtern gibt es noch andere dolinenförmige Depressionen, die von Cvijić und Supan Schwemmlanddolinen genannt werden, für die aber Kraus, um Verwechslungen hintanzuhalten, als Kompromißbezeichnung „Schwemmlandtrichter" in Vorschlag bringt; zu dieser Klasse rechnet er auch die Seedolinen und Sauglöcher. Diese unterscheiden sich von den eben besprochenen Karsttrichtern dadurch, daß ihre Unterlage nicht wie bei diesen aus festem Gestein, sondern aus Trümmermaterial besteht. Es ist daher eine sehr große Zahl von Zwischenräumen vorhanden, welche einerseits die Infiltration, andererseits aber auch den Nachfall und die Verschlämmung begünstigen. Während die Karsttrichter ihren Platz nicht wechseln können und an die vorhandenen Klüfte im anstehenden Gestein gebunden sind, ist dies bei den Schwemmlandtrichtern in weit geringerem Maße der Fall, da ja der Untergrund überall durchlässig ist. Auch in größeren Einsturzdolinen kommen sekundäre Schwemmlandtrichter vor, während in erosiven Kesseltälern ihre Stelle Schlünde mit trichterförmig erweiterten Mundlöchern einnehmen (S. 61; 121—126).

Nach dem so Kraus seine Ansichten über die Entstehung der oberirdischen Karsterscheinungen dargetan, geht er etwas näher auf die Cvijić'sche Theorie ein. Es ist bedauerlich, daß Kraus hiebei nicht die Mäßigung beobachtet hat, die bei einer wissenschaftlichen Polemik unter allen Umständen geboten ist. Mit dem Satze: „Wäre die Arbeit von Cvijić nicht in einem so hervorragenden Fachblatte erschienen, wie die Geographischen Abhandlungen von Professor Penk, so könnte man über die Irrtümer dieses Autors hinweggehen" (S. 127) dürfen Forschungsresultate eines so gewissenhaften und gründlichen Gelehrten, wie es Cvijić ist, denn doch nicht abgetan werden. Ueberdies neigt auch Penk, wie wir dies später nachweisen werden, mehr der Ansicht von Cvijić als von

Kraus zu, für jemand, der sich ein möglichst klares Bild von dem Wesen des Karstphänomens machen und in dem wirren Durcheinander der verschiedenen Theorien zurecht finden will, ist aber die Arbeit von Cvijić geradezu unentbehrlich. Was aber die von Kraus beanstandete Nomenklatur von Cvijić anlangt, so hat dieser eine so ins Detail gehende eben deshalb gewählt, um Verwechselungen zu vermeiden. Wenn Cvijić alle Depressionen in der Oberfläche des Karstgebietes, auch die röhrenförmigen, als „Dolinen" bezeichnet, so handelt er hierin nur folgerichtig, da ja nach seiner Theorie diese sämtlichen Oberflächenerscheinungen auf ein und dieselbe Grundursache, auf chemische Erosion, zurückzuführen sind. Kraus seinerseits muß natürlich zwischen Dolinen und Trichtern unterscheiden, da er für beide Erscheinungen verschiedene Entstehungsursachen annimmt. Es könnte übrigens scheinen, als ob bezügl. des Dolinenphänomens beide Forscher sich wenigstens in einem Punkte näher kämen, da ja auch Kraus „Erosionserscheinungen" kennt. Man muß sich deshalb stets klar vor Augen halten, daß die Erosion bei Kraus stets ausschließlich einer präexistierenden Drainagehöhle zu verdanken ist, während dieser Umstand für Cvijić minder wichtig ist. Zudem ist für Cvijić „Erosion" etwas ganz anderes als für Kraus; dieser meint in erster Linie die mechanische Spülung, während jener die Grundursache der Karsterscheinungen in der chemischen Lösung des Kalksteines im kohlensäurehaltigen Wasser sieht. Wir möchten daher die neuere Erosionstheorie lieber als „Korrosionstheorie" bezeichnen, da nur auf diese Weise eine Verwechselung mit den durch rein mechanische Wirkung entstandenen Formen vermieden werden kann.

Es erübrigt nun noch, die Ansichten von Kraus über die talartigen Formen und Kesseltäler kennen zu lernen. Auch bei diesen Karsterscheinungen ist die Vorbedingung stets die Kluftbildung. Ihr weiterer Bildungsprozeß vollzieht sich im allgemeinen in der gleichen Weise wie bei den kleineren Depressionen, d. h. sowohl durch Erosion

in senkrechter anstatt in horizontaler Richtung als auch durch Einsturz, steht also in direktem Zusammenhang mit dem Höhlenbildungsprozesse. Ist schon die Entstehung der weit kleineren Einsturzdolinen häufig recht kompliziert, so ist es nur erklärlich, daß auch die Bildung der Kesseltäler nicht immer auf einfachem Wege erfolgt. Zu beachten ist, daß sich diese, wie alle Karsterscheinungen, ausschließlich im Plateaugebirge bilden. Die Erosion wirkt bei der Bildung der Kesseltäler häufiger in Gegenden, wo große Längsbrüche das Gebirge durchsetzen, so daß für die Erosion und Abschwemmung nach den tiefsten Punkten hin nur nach einer Richtung eine große Zahl von Angriffspunkten gegeben ist, wofür die dalmatinisch-bosnisch-herzegowinischen Poljen als typische Beispiele betrachtet werden können. Dabei findet aber die Abfuhr der Gewässer durchaus nicht nur in senkrechter Richtung statt, dieselbe erfolgt gleichzeitig auch in horizontaler, wenn die mit den Drainageröhren kommunizierenden Katabothren (Wasserschlinger) nicht genügend Wasser verschlingen können. Die senkrechte Wasserzuführung hört endlich ganz auf, wenn aus irgend einem Grunde die Klüfte zu funktionieren aufhören. Aus diesen Verhältnissen sind auch die periodischen Seen, wie der Zirknitzer See und die zahlreichen periodischen Ueberschwemmungen in den Kesseltälern von der Save bis hinab zu den griechischen Inseln, auf einfache Weise zu erklären. Diese durch einfache Erosion entstandenen Kesseltäler besitzen nur selten oberirdische Wasserläufe, weil das Wasser in tieferen Horizonten zirkuliert, bis zu welchen das Tal noch nicht ausgetieft ist. Zahlreiche Schlünde führen die Niederschläge bis zu jenen Horizonten; genügen die Abzugsschlünde nicht, so staut sich auch in diesem Falle im Tale Wasser auf, so daß wir zwei Wasserhorizonte übereinander, einen unterirdichen vom fließenden und einen oberirdischen vom stagnierenden Wasser haben, eine Annahme, wie sie bezüglich des Zirknitzer Sees Gansauge (s. Seite 38) schon früher aufgestellt hatte. Der Mangel an oberirdischem fließenden Wasser und die senkrechte Verschlundung

der Niederschläge können also als Anzeigen der Talbildung durch Erosion betrachtet werden.

Manche Kesseltäler sind aber auch ursprünglich durch Einsturz entstanden und durch spätere Nachbrüche und atmosphärische Einflüsse erweitert worden und zwar häufiger in Gegenden, denen weithin verfolgbare Brüche fehlen. Daß bei diesen Deckenbrüche, wenigstens im südosteuropäischen Karstgebiete, eine große Rolle spielen, erscheint Kraus durchaus wahrscheinlich. Während in Erosionstälern die blanke, felsige Sohle aus anstehendem Gesteine besteht, ist in den durch Einsturz entstandenen Kesseltälern die Sohle hochauf mit Blockmaterial und darüber gebreiteten Sedimenten ausgebreitet. Auch stehengebliebene Pfeiler wie der Hügel von Kopajn im Ratschnatale (Krain) und der Hügel von Jakobowitz im Planinatale sind Anzeigen für die Einsturznatur mancher Kesseltäler.

Häufig wirken auch Erosion und Einstürze bei der Bildung von Kesseltälern zusammen, wie das im Kesseltale von Zirknitz und Loitsch der Fall ist. Im allgemeinen stellt Kraus auch für die Kesseltäler den für das gesamte Karstphänomen giltigen Satz auf: „Die muldenförmigen Kesseltäler sind als durch das Zusammenwirken der oberirdischen mit der unterirdischen Erosion entstandene Depressionen in der vordem annähernd ebenen Oberfläche eines Plateaugebirges zu betrachten". Wiewohl also Kraus im Gegensatz zu anderen Forschern, insbesondere zu v. Mojsisovics, die Entstehung der Kesseltäler ohne Zuhilfenahme von tektonischen Störungen zu erklären versucht, will er doch den Einfluß derselben auf die Bildung von Brüchen, Aufstauungen und dgl. keineswegs von der Hand weisen, zumal im kroatischen und serbischen Karste jüngere Eruptivgesteine in der Nähe großartiger Karstterrains vorkommen. Eine weiter gehendere Theorie will Kraus indessen an diese Tatsache nicht knüpfen (S. 54, 129, 140—147).

Ueberblicken wir die Forschungsresultate der beiden zuletzt genannten Autoren, so erkennen wir, daß hier allerdings die größten Gegensätze aufeinander-

prallen: bei Cvijić ist Grundursache des Karstphänomens die chemische Auflösung des Kalksteines im kohlensäurehaltigen Wasser; durch sie werden alle Formen des Karstes von den kleinen Karren bis zu den riesigen Poljen erklärt, bei Kraus wird alles durch Einsturz der Decke über präexistierenden Höhlen oder durch mechanische Erosion entlang von mit Höhlen verbundenen Klüften erklärt. So unversöhnlich die beiden Ansichten sich gegenüber zu stehen scheinen, so haben sie doch eine wesentliche Aufklärung über die in Frage stehenden Erscheinungen gebracht und es ermöglicht, daß auf der mittleren Linie eine Einigung zustande kommen könnte. Wie so oft bei geophischen Problemen — wir erinnern nur an den heftigen Kampf zwischen Neptunismus und Plutonismus — kam schließlich durch Zugeständnisse von beiden Seiten eine Einigung zustande. Es ist ja klar, daß über Höhlen durch sukzessives Abbröckeln schließlich die Spannung der Decke so groß wird, daß ein Niederbruch erfolgen muß, daß also die Rolle, die Einsturzvorgänge bei der Bildung der Karstphänomene spielen, nicht unterschätzt werden darf; andererseits aber liegen doch genug Beweise für die rein oberirdische Entstehung durch chemische Erosion vor, so daß an der Bildung der echten Dolinen durch Korrosion in Verbindung mit mechanischer Erosion nicht mehr gezweifelt werden kann. Die größeren Formen dürften freilich Einbruchs- und tektonische Erscheinungen sein, die durch spätere mechanische Erosion modifiziert wurden.

VI.

Der Sieg der Erosionstheorie.
Die Grund'sche Grundwassertheorie.

Auf diesem vermittelnden Standpunkt steht vor allem **Alfred Grund.** Auf den von Cvijić gegebenen Grundlagen fußend, tat dieser Forscher einen weiteren Schritt zum Ausbau der Erosionstheorie und zur För-

derung des Verständnisses der Karstprobleme. Er geht bei der Erklärung der Karsterscheinungen von den verwickelten hydrographischen Verhältnissen der bosnisch-herzegowinischen Karstgebiete aus und betitelt demnach seine Arbeit als „Karsthydrographie“ (Geographische Abhandlungen von A. Penck, Band VII, Heft 3, 1903), obgleich der Inhalt umfassender ist, als der Titel annehmen läßt. Der Verfasser bereiste und untersuchte in den Jahren 1896—1902 wiederholt Teile Bosniens, der Herzegowina und Dalmatiens, zum Teil dieselben Gebiete wie J. Cvijić.

Bei seinen Untersuchungen berücksichtigte er in erster Linie den Einfluß der verschiedenen Gesteinsschichten auf die Karsthydrographie, das wechselnde Auftreten karstbildender, für Wasser durchlässiger, subterrane Erosion begünstigender Gesteine und oberirdisch entwässerter Schichten. Er wendet sich dabei vor allem gegen die Auffassung der Karsthydrographie als eines verwickelten Systems geschlossener Röhren und Reservoirs, in denen das Wasser unterirdisch flußartig zirkuliere. Diese Auffassung, der wir schon mehrfach begegneten, suchte alle hydrographischen Erscheinungen im Karstgebiete aus der Flußnatur des subterranen Wassers zu erklären, so daß man z. B. auch die Ueberschwemmungen in den Poljen durch Verstopfung der Röhren und aus dem Mißverhältnis zwischen Wasserzufuhr und Abfuhr erklärte. Einen wesentlich anderen Standpunkt nimmt Grund ein. Für ihn ist nicht der Fluß, sondern die Quelle die Ursache aller hydrographischen Erscheinungen des Karstes.

Theoretisch stellt sich nun Grund die subterrane Zirkulation des in die Tiefe sinkenden Meteorwassers folgendermaßen vor: im völlig ohne Talbildung gedachten, an das Meer grenzenden Kalkgebirge zieht sich landeinwärts eine allmählich ansteigende Fläche, unterhalb deren die den Kalkstein allenthalben durchsetzenden Klüfte mit Wasser (Grundwasser) gefüllt sind; daß diese Fläche nicht horizontal ist und also nicht mit der Meeresfläche zusammenfällt, erklärt sich daraus, daß der hydrostatische Druck vom Meere her

und die Reibung und Adhäsion an den Kluftwänden in dieser geneigten Fläche dem hydrostatischen Druck des landeinwärts höher stehenden Wassers gleichkomme. Bei Niederschlägen sickert nun infolge der enormen Zerklüftung des Kalksteines das Wasser rasch in die Tiefe, es „regnet" — wie Grund in einem treffenden Bilde sich ausdrückt — unter der Oberfläche gewissermaßen weiter, bis die erwähnte Fläche erreicht ist; nunmehr tritt der Abfluß des Niederschlages auf der Horizontalen entlang dieser Grundwasserfläche nach dem Meere zu ein; und dieses fließende Grundwasser des Karstes, das beständig durch die atmosphärischen Gewässer gespeist wird, nennt Grund Karstwasser im Gegensatze zum gewöhnlichen Grundwasser. Diese Grundwasserverhältnisse werden indessen durch nachstehende Tatsachen kompliziert: der Kalk ist nicht, wie meist fälschlich behauptet wird, wasserdurchlässig wie z. B. der Quadersandstein des Elbsandsteingebirges, als Gestein ist er tatsächlich undurchlässig; der Kalk ist vielmehr als ein klüftiges Gestein zu bezeichnen, denn nur die Spalten und Klüfte des Gesteines, nicht dieses selbst, gewähren dem Wasser den Durchlaß. Infolge dieser Klüftigkeit ist das bis zur Fläche des stagnierenden Grundwassers gelangende atmosphärische Wasser genötigt, sich in die Spalten und Klüfte des Kalkes zu verteilen, hat infolgedessen eine bedeutend geringere Auffallsfläche und deshalb wiederum eine bedeutend größere Niederschlagshöhe, als das auf der Erdoberfläche der Fall ist, wo die Auffallsfläche größer ist. Daraus erklären sich leicht und ungezwungen die häufig beobachteten bedeutenden Karstwasserschwankungen. Ist nun ein Karstgebiet, wie das adriatische, durch jahreszeitlich verschiedene Niederschlagsverhältnisse charakterisiert, so wird diese Karstwasserschwankung noch bedeutender. Während in unseren Klimaten die Schwankungen des Grundwassers meist nur Bruchteile eines Meters betragen, wurden im Karste, der ein starkes sommerliches Minimum und herbstliches Maximum des Niederschlages aufweist, recht bedeutende Karstwasserschwankungen beo-

bachtet. So stieg nach Cvijić das Wasser in der Trebičgrotte im Triestiner Karste im Oktober 1868 um 80 m, und die jährliche Karstwasserschwankung am Kamenitiponor im Livanjskopolje, von dem allein exakte Messungen zu Gebote stehen, gibt Grund auf 40 m an. Daß wir es im Karstetatsächlich mit Grundwasserschwankungen und nicht einfach mit Flußüberschwemmungen mit unzureichendem Abflusse zu tun haben, geht vor allem mit zwingender Beweiskraft aus der langen Verspätung der Karstwasserstände gegenüber dem Niederschlagsmaximum bezüglich dem Minimum hervor; so beginnt im Polje von Livno die Inundation erst 14 Tage nach dem Beginn der Herbstregen. Dieser langsame, verspätete Rythmus wurde ja auch bei den gewöhnlichen Grundwasserschwankungen längst erkannt.

Als weitere Argumente für seine Grundwassertheorie führt Grund an, daß Färbeversuche und Bemühungen, durch Triftgegenstände das Vorhandensein von Höhlenflüssen nachzuweisen, stets gescheitert seien. Weiter spricht gegen die Annahme von Höhlenflüssen die Tatsache, daß die Höhlensysteme, in die die Flüsse eintreten, stets blind enden oder in ein System von Spalten übergehen. Auf diesen Punkt werden wir später noch näher einzugehen haben.

Bei den bisher geschilderten Schwankungsverhältnissen des Karstwassers ließ Grund alle stauenden, undurchlässigen Hindernisse außer acht und erklärte lediglich in theoretischer Weise den Abfluß des Karstwassers im Kalke. Recht verwickelte Verhältnisse treten uns jedoch gegenüber, wenn wir auch die stauenden Riegel, Barren und Dämme, die sich dem ungehinderten Abfluß des Grundwassers in Wirklichkeit häufig entgegenstellen, in Betracht ziehen. Die Stauung kann auf zweierlei Art erfolgen: entweder durch eine Barre von unten her, meist in Gestalt einer undurchlässigen Antiklinale, oder durch eine abwärtsreichende Barre undurchlässigen Gesteins. Die hierdurch entstehenden, verwickelten Möglichkeiten im Einzelnen zu verfolgen, würde hier zu weit führen. Es genüge hier darauf hinzuweisen, daß die Wirksamkeit der Stauung in beiden Fällen dadurch be-

stimmt wird, ob der Kamm der Barre über, zwischen oder unter den Karstwasserschwenkungen zu liegen kommt. Wer sich näher darüber belehren will, möge das Grund'sche Buch selbst zu Rate ziehen (S. 177 bis 179).

Durch diese Karstwasserschwankungen lassen sich aber auch die verschiedenen Quellen des Karstes erklären. Grund unterscheidet zweierlei Typen: periodische oder Karstquellen und perennierende oder Vauclusequellen. Letztere finden sich überall dort, wo die Erdoberfläche unter die Karstwasserschwankung herabsinkt; jene treten auf, wenn die Erdoberfläche zwischen der Karstwasserschwankung, also zwischen dem oberen und unteren Karstwasserniveau, liegt. Zur Gattung der Karstquellen gehören auch die periodisch als Quellen und Sauglöcher funktionierenden Kluftöffnungen, die Estavellen. Die Ursachen des Auftretens von Quellen im Karste sind verschiedener Art. Einmal hat die in die Tiefe gehende Flußerosion das Karstwasser angezapft und so tiefe Austrittspunkte geschaffen; sodann kann durch tektonische Senkungserscheinungen die Erdoberfläche zwischen oder unter die Karstwasserschwankungen zu liegen kommen, so daß an den Rändern das Wasser zum Vorschein kommt, wie das bei den Poljen der Fall ist; endlich kann auch durch Stauung von oben oder unten das Karstwasser bis zur Oberfläche getrieben und so zum Austritt gebracht werden.

Analog dem Auftreten von Quellen geht natürlich auch die Entstehung von Flüssen im Karste vor sich. Oberirdische Entwässerung im Kalke und aus dem Kalke kann nur dann vor sich gehen, wenn die Erdoberfläche unter oder zwischen den Karstwasserschwankungen zu liegen kommt. Das obere Karstwasserniveau stellt die Grenzfläche periodischer, das untere Niveau die Grenzfläche perennierender oberirdischer Entwässerungsmöglichkeit dar; liegt dagegen die Kalkoberfläche höher als das obere Karstwasserniveau, so tritt an die Stelle der horizontalen Entwässerung die vertikale, d. h. das Wasser versickert in den Klüften und Spalten in die Tiefe.

In gleicher Weise werden durch das Karstwasser bezüglich seiner Schwankungen auch die hydrographischen Verhältnisse der Karstmulden oder Poljen beeinflußt. Man unterscheidet in dieser Beziehung bekanntlich trockene, periodisch inundierte und dauernd überschwemmte Karstmulden. Liegt der Boden eines Poljes höher als das obere Karstwasserniveau, so fehlen natürlich der Mulde alle Merkmale einer Bewässerung durch Karstwasser; sowohl Karst- wie Vaucluse quellen fehlen gänzlich. Bewässerung ist in solchem Falle überhaupt nur dann möglich, wenn in der Nachbarschaft sich undurchlässiges Gestein findet, das oberirdische Wasserabfuhr gegen die Mulde hin gestattet. In diesem Falle können zwar auch Ueberschwemmungen eintreten, wenn die die Entwässerung bewerkstellenden Ponore die zufließenden Wassermengen nicht zu bewältigen vermögen; dieselben sind jedoch nur von kurzer Dauer und können in keinem Falle mit dem Karstwasser in Zusammenhang gebracht werden.

Dauernd werden die Karstmulden inundiert, wenn ihre Sohle unterhalb des unteren Karstwasserniveaus liegt; hier kann also von einem Mißverhältnis zwischen Wasserzufuhr und Abfluß nicht die Rede sein, sondern lediglich der Stand des Karstwassers ist für die Höhe der Inundation maßgebend. Da dieses nach dem Meere zufließt, so stehen die Karstwasserniveaus naturgemäß schräg, sodaß der Eintritt des Karstwassers in größerer Höhe erfolgt als dessen Austritt. Damit hängt es zusammen, daß die Eintrittsstellen des Wassers, die Quellen, stets auf der einen Seite der Poljen angeordnet sind, die Austrittsstellen, die Ponore, dagegen auf der anderen.

Die Dauer der Inundation hängt von der Lage des Muldenbodens gegenüber den Karstwasserniveaus ab; die Überschwemmungen sind von kürzerer Dauer, wenn die Sohle näher dem oberen Karstwasserniveau liegt, dagegen von längerer Dauer, wenn sie näher dem unteren Niveau sich befindet. In diesem Falle kann infolge der Verzögerung des Ablaufes die Inundation zu einer dauernden werden, obwohl so, wie

beim Jezero blato von Imotski in Dalmatien, der Seespiegel und der Wannenboden für kurze Zeit über dem Karstwasserniveau zu liegen kommen.

Im Gegensatz zu Kraus, der die Annahme einer regelmäßigen Periodizität der Hochwässer in den Katabothrenseen entschieden zurückweist (S. 147), hält Grund die Gesetzmäßigkeit der Inundation aufrecht. Dieselbe ist bedingt durch den schon erwähnten kausalen Zusammenhang zwischen den im Karstgebiete mit regelmäßiger Periodizität erfolgenden Niederschlägen und den jahreszeitlichen Karstwasserschwankungen. Auch eine etwaige Verstopfung der Ponore ist nicht die Ursache der Inundationen, denn dann würde keine Gesetzmäßigkeit vorhanden sein. Auch nach Ausräumung der Ponore würden die Ueberschwemmungen nicht aufhören; eine Ausräumung würde höchstens den Eintritt und die Beendigung der Inundation beschleunigen, diese selbst aber nicht zu beseitigen vermögen. Karstmeliorationen nach dieser Richtung dürften also kaum einen nennenswerten Erfolg aufzuweisen haben.

Wir haben die Grund'schen Ausführungen über die Karsthydrographie deshalb etwas eingehender behandelt, weil diese auch zur Erklärung der eigentlichen Karsterscheinungen zu Hilfe genommen wird.

Was zunächst die Höhlenbildung anlangt, so ist diese nach Grund keine Vorbedingung der Dolinenbildung, wie die Einsturztheoretiker wollen, sondern lediglich das Äquivalent der letzteren. Die Dolinenbildung ist eine Folge der vertikalen, die Höhlenbildung die Folge der horizontalen Entwässerung. Dies läßt sich am deutlichsten an den Karstbecken beobachten. Tritt in Karstbecken das Karstwasser wieder zu Tage, so kommt es mit der Luft und organischen Prozessen in Berührung; es kann also wiederum Kohlensäure in sich aufnehmen und die Ausflußklüfte erweitern. Im Gegensatz zu den Quellspalten, die meist eng sind, da das Wasser auf seinem unterirdischen Wege seinen Kohlensäuregehalt verbraucht hat, sind die Klüfte unterhalb des Beckens häufig zu Ponorschloten und Höhlen erweitert. Dieser

Vorgang der Höhlenbildung muß natürlich mit dem zunehmenden Kohlensäureverbrauch früher oder später ein Ende nehmen. Damit hängt auch die bereits erwähnte Tatsache zusammen, daß Höhlen, selbst wenn man sie kilometerweit verfolgen kann, doch schließlich immer wieder sich in eine Reihe von Armen auflösen, um endlich ganz in das Kluftnetz überzugehen.

Bei der Erklärung des Dolinenphänomens stellt sich Grund ganz entschieden auf den Standpunkt von Cvijić. Auflösung des kohlensauren Kalkes im kohlensäurehaltigen Wasser ist auch für ihn die Grundursache der eigentümlichen Gestaltung des Karstreliefs. Begünstigt wird die Ausbildung des Dolinenphänomens durch die bekannte Klüftigkeit des Kalksteines. Als solche Klüfte sind zum Teil die Schichtfugen wirksam; deshalb sind auch — wie das schon früher beobachtet wurde — Dolinen besonders an den Schichtfugen wirksam, so daß reihenförmige Anordnung der Dolinen entsteht. Auch die Gebirgsbildung hat zahlreiche Verwerfungen und Quersprünge entstehen lassen; deshalb sind Dolinen im dislozierten Gestein häufiger als im ungestörten. An all diesen Klüften sickert das atmosphärische Wasser in die Tiefe. Das hat nun der Kalk zwar auch mit den undurchlässigen Gesteinen gemeinsam, denn auch diese sind mit Klüften durchsetzt, die das Eindringen des Wassers ermöglichen; ja selbst ungeschichtete Eruptivgesteine wie die Granite Südböhmens besitzen in ihren Klüften eine Wasserzirkulation. Was aber den Kalk von den undurchlässigen Schichten unterscheidet, ist seine chemische Löslichkeit im kohlensäurehaltigen Wasser. Diese erst bewirkt die Erweiterung der Klüfte, und zwar zunächst an der Mündung derselben an der Oberfläche, da hier das Wasser noch einen größeren Gehalt an Kohlensäure besitzt. Da infolge des Verbrauches der Kohlensäure die Wirksamkeit der chemischen Erosion mit der Tiefe abnimmt, so verengt sich die Doline nach abwärts zur erweiterten Kluft und auch diese wird mit zunehmender Tiefe immer enger. Wie Cvijić machte auch Grund die Beobachtung, daß im Profil angeschnittene Dolinen

(an der Istrianer Staatsbahn bei Lupoglava) durch einen Keil angegriffenen Gesteines sehr rasch in eine verhältnismäßig enge Kluft übergehen. Aus dieser Beobachtung folgere Cvijić mit Recht, daß die Dolinen oberirdischen Ursprungs sind. Eine dem Werke von Cvijić beigegebene Zeichnung schließt jeden Zweifel an der Richtigkeit dieser Folgerung aus. Daß Kraus gerade hier mit einem Angriff auf Cvijić einsetzt, ist schlechterdings nicht recht verständlich. Denn wenn Kraus diese Art von Dolinen (die „Karsttrichter" seiner Nomenklatur) für seine Theorie in Anspruch nimmt, so geht er von zwei falschen Voraussetzungen aus. Einmal nimmt er an, daß die Kluft, längs deren die Erosion wirksam ist, mit einer Höhle kommuniziere, und zweitens, daß durch eine Verlegung der Kluft die Ausfüllung der Doline bewirkt worden sei. Betrachtet man indes die Zeichnung von Cvijić, die auch von Kraus reproduziert wurde gegenau, so erkennt man, daß von einer Verlegung der Kluft und dadurch bedingten Verschlämmung des Trichters nicht die Rede sein kann. Was Kraus für Ausfüllungsmaterial hält, ist nur durch die chemische Erosion angegriffenes und zermürbtes Gestein, wie es sich überall an der Kalkoberfläche zeigt, und die Kluft selbst zieht sich durch diesen Keil angegriffenen Gesteins bis an die Oberfläche. Auch kann aus der Zeichnung keineswegs der Schluß gezogen werden, daß die Kluft mit einer präexistierenden Höhle kommuniziere, denn solche Klüfte durchziehen den Kalk allenthalben, nicht nur über Höhlen. Bei dieser Art von Dolinen dürfte also die Entstehung durch oberirdische Erosion zweifellos erwiesen sein.

Bezüglich der Entstehung der Poljen nimmt jedoch Grund einen von Cvijić verschiedenen Standpunkt ein. Er hält mit Stache [1]), Kerner [2])

[1]) Stache: „Das Eocängebirge in Innerkrain und Istrien (Jahrb. d. geol. R. A., 1859, S. 272) und „Die Liburnische Stufe und deren Grenzhorizonte." (Abhandl. d. geol. R. A., 1889., Bd. XIII, Heft 1, S. 13—17).

[2]) Kerner: „Die Beziehungen des Erdbebens von Sinj am 2. Juli 1898 zur Tektonik seines pleistoseisten Gebietes". (Jahrb. d. geol. R. A., 1900., S. 1 und 12).

Schubert [1] und Penck daran fest, daß die Poljen zum größten Teil tektonische Senkungsfelder sind, namentlich sei dies bezüglich der großen westbosnischen Poljen von Livno, Glamoč und Duvno, sowie der dalmatinischen Poljen Sinjspolje und Vranjsko blato durch Detailaufnahmen erwiesen. Gegen die chemische Erosionstheorie führt Grund die Tatsache ins Feld, daß die Poljen sich immer nur an einer Seite von Bruchlinien sich finden, daß diese Brüche also stets nur Randbrüche seien. Wenn Cvijić annimmt, daß solche Brüche die Bildung von Poljen zwar begünstigen, daß die Beckenbildung selbst aber erst der Karsterosion zuzuschreiben sei, so hätte diese Ausräumung doch beiderseits der Bruchlinie wirken müssen, wie dies ja auch bei den Dolinen und kleineren Karstmulden der Fall sei. Ein Grund aber, weshalb die Ausräumung nur einseitig erfolgen und die Ränder des Poljes verschonen solle, sei nicht einzusehen. Gegen die Cvijić'sche Annahme spreche auch die Beobachtung, daß Poljen nicht überall im Kalke vorkämen. Man müsse eben beweisen können, warum sie bestimmten Gegenden fehlen und warum eine bestimmte Schichtgruppe leichter zerstörbar sein solle als ihre Umgebung; dafür sei aber der Beweis nicht zu erbringen (S. 183). Zudem gehe die chemische Denudation im Karste so langsam vor sich, daß sie nicht imstande sei, größere Becken auszuräumen (S. 129). Wohl aber könne die mechanische Erosion der Flüsse Ausräumungsbecken bilden, wie dies beim Vučjepolje, Kružkopolje, Petrovopolje und beim Becken von Popovići der Fall sei; dabei könne die Ausräumung sowohl auf ober- wie auf unterirdischem Wege erfolgen. Diese Becken liegen sämtlich auf undurchlässigem Boden; indem nun die Flüsse die leichter zerstörbaren, undurchlässigen Schichten hinwegschafften, sei der Kalk ringsum stehen geblieben und so seien isolierte ebene Vertiefungen entstanden.

[1] Schubert: „Der Bau des Festlandgebietes im Bereich der N. W. Sektion des Kartenblattes Zaravecchia Stretto (Verhandl. der geol. R. A., 1900, S. 176—197 und 200).

Ein dritter Typus von Poljen ist durch Aufschüttung entstanden: akkumulierte Poljen. Solche sind das Borovo- und Galovopolge an der Borova glava.

Diese 3 Gattungen: tektonische, ausgeräumte und akkumulierte Poljen, bilden nun mit ihren zwei verschiedenen Entwässerungsmöglichkeiten (ober- oder unterirdisch) sechs mögliche Kombinationen von Poljen. Da aber die Anwendung des Namens „Polje" für sämtliche Formen nur Verwirrung hervorrufen würde, so schlägt Grund folgende Bezeichnungen vor. Da die beiden letzten Typen an undurchlässige Gebiete anknüpfen und nur dann zu Karsterscheinungen werden, wenn sie unterirdisch entwässert werden, so möchte er bei ihnen die Bezeichnung („Polje") überhaupt vermieden wissen. Er benennt deshalb die aufgeschlossenen Ausräumungsbecken als Erosionsebenen, die unterirdisch entwässerten als blindes Tal oder blindes Talbecken, die Aufschüttungspoljen in beiden Fällen als Akkumulationsebenen. Den Namen „Karstpolje" dagegen will er ausschließlich auf die unterirdisch entwässerten tektonischen Senkungsfelder eingeschränkt wissen.

Die Veranlassung zur Entstehung des Karstpoljes ist eine allgemein auf der Erdoberfläche wirkende Ursache und wird nur unter dem Einfluß der Gesetze der Karstentwässerung zu einem eigenen morphologischen Typus. Der Gang der hydrographischen Geschichte ist eben im Karst anders als im undurchlässigen Gestein. In letzterem muß sich ein tektonisches Becken mit Wasser füllen und schließlich über den tiefsten Punkt der Umrandung überfließen; ein solches tektonisches Becken wird also stets oberirdisch bewässert und entwässert werden. Durch die Schuttzufuhr der Flüsse wird dann die Ausfüllung der Becken herbeigeführt und schließlich die tektonische Hohlform wieder beseitigt.

Anders verhält sich dies im Karste. Hier muß sich die Senkung nicht bis zum Rand füllen und oberirdisch abfließen. Sie füllt sich gar nicht, wenn der Muldenboden über dem oberen Karstwasserniveau

liegt; liegt er dagegen im Bereiche der Karstwasserschwankung, so füllt sich das Becken nur bis zur Spiegelhöhe des Karstwassers. Im ersteren Falle spielt Erosion und Akkumulation überhaupt keine Rolle, im letzteren sind ihr durch die Karstwasserschwankung ganz enge Grenzen gezogen. Im Karst bleibt deshalb die tektonische Hohlform erhalten, während sie auf undurchlässigem Boden mit der Zeit wieder verwischt oder beseitigt wird.

Diese Verhältnisse passen aber nur für die Gegenwart. In früheren Perioden der Erdgeschichte nahm der Vorgang einen anderen Verlauf. In Westbosnien lassen sich zwei verschiedene Stadien von tektonischen Senkungen feststellen. Als hier nach Schluß der oligocänen Faltung die ersten tektonischen Einbrüche erfolgten, schufen sie Seebecken, die häufig bis zum Rande mit Wasser gefüllt wurden, neben unterirdischem Abfluß also auch oberirdischen hatten, und deren Boden mit limnischen Ablagerungen eingeebnet wurde. Der Vorgang war also dem der alpinen Senkungsfelder ähnlich. Damals muß sich demnach der Karstwasserspiegel noch nahe der Erdoberfläche befunden haben. Während nun Penck (Geomorpholog. Studien aus der Herzegowina, Zeitschr. d. D. u. Oe. Alp.-Vereins, 1900, Bd. 31, S. 39—40) daraus schließt, daß das Land tiefer gelegen haben müsse als jetzt und erst später eine Hebung das Landes erfolgt sei, nimmt Grund eine höhere Lage des Meeresspiegels an; das Land müßte also einen Anblick geboten haben wie heutzutage etwa Florida, wo gleichfalls die Oberfläche der Kreidekalke im Karstwasserniveau liegt. Damals lag auch die Festlandsküste noch viel weiter seewärts wie heute. Von Hebungserscheinungen bei der Bildung der Karstbecken, wie Penck annimmt, kann demnach keine Rede sein. Später traten dann weitere tektonische Veränderungen ein, indem die Einebnungsflächen zerbrachen [1]) und sich stufenweise

[1]) Damals sanken große Teile der Becken von Livno, Duvno und Glamoč ab; neu entstanden die Karstpoljen von Resanovci, Vukovsko, Ravno, Suica und andere; eine Anzahl blieben unverändert, sanken aber zugleich mit ihren Senkungsfeldern weiter in die Tiefe.

gegen die Adria senkten, deren gleichzeitiger Einbruch erfolgte; so entstand also die heutige Küstenlinie der Adria und das heutige Landschaftsbild, sowie die gegenwärtige Verteilung von Hoch und Niedrig.

Auch nach dieser zweiten Senkungsperiode müssen noch viele Karstbecken neben dem unterirdischen einen oberirdischen Abfluß besessen haben; indes der Karstspiegel sank rasch; und zwar erfolgte dieses Sinken ruckweise, in zeitweilig unterbrochenem Rythmus, wie aus den Poljeterrassen hervorgeht. Diese Senkung des Karstspiegels darf auch nicht einer Erweiterung der Höhlen und Ponore zugeschrieben werden, denn diese hätten ein allmähliches und nicht ruckweises Sinken des Karstwasserspiegels bewirkt: die Bildung von Terrassen wäre so nicht zu erklären.

Auf diese Weise stieg die gesamte Kalkoberfläche gewissermaßen über den Karstwasserspiegel empor, und die allgemeine Verkarstung des Landes begann, d. h. die vertikale Entwässerung der Kalkoberfläche löste die horizontale ab. Die Mehrzahl der Senkungsfelder wurde schon damals trocken gelegt; in anderen wieder bahnte sich das Wasser einen oberirdischen Abfluß; erstere wurden zu inundierten Karstpoljen, letztere zu erosiven Flußweitungen. Erst seit dieser Zeit besteht also der morphologische Unterschied zwischen den dinarischen und alpinen Senkungsbecken. Während der Eiszeiten trat dann in dreimal abnehmender Intensität eine Verstärkung der Karstwasserschwankung ein, die aber Grund nur noch an den diluvialen Terrassen des Livnopoljes nachzuweisen vermochte, da sich seine Untersuchungen auf dieses Problem nicht mehr erstreckten.

Zu ähnlicher Auffassung der Karstphänomene gelangt auch **Albrecht Penck,** wenn er auch in einigen Punkten von Grund und namentlich von Cvijić abweicht. Es ist für den endlichen Sieg der durch v. Mojsisovics begründeten, durch Cvijić ausgebauten und durch Grund modifizierten Erosionstheorie von nicht geringer Bedeutung, daß sich ihr auch eine so hervorragende Autorität wie Penck angeschlossen hat.

Nachdem A. Penck schon im Jahre 1900 seine Ansichten über das Karstproblem in einer Arbeit: „Geomorphologische Studien aus der Herzegowina“ (Zeitschr. d. deutsch. u. österr. Alpenvereins, Bd. XXI, S. 25—41) niedergelegt und sich schon hier im großen und ganzen auf den von Cvijić verfochtenen Standpunkt gestellt hatte, veröffentlichte er im Jahre 1904 in den Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse in Wien eine kurz zusammenfassende und gediegene Monographie: „Über das Karstphänomen“, in der er sich auch die Grund'sche Grundwassertheorie zu eigen macht.

Auf Pencks Darstellung des Dolinenphänomens näher einzugehen, erübrigt sich hier, da in dieser Frage zwischen Penck und Cvijić und namentlich Grund im wesentlichen Uebereinstimmung herrscht. Dagegen müssen wir auf seine Erklärung der Karren etwas näher eingehen, da diese Erscheinungen bisher immer noch Rätsel aufwiesen, die aber Penck in gleichfalls befriedigender Weise gelöst hat.

Daß die Karren Produkte der chemischen Auflösung des Kalkes durch das Regenwasser seien, nimmt Penck auch mit Heim, Grund und anderen Forschern an. Er unterscheidet zwei Karrentypen: Rinnen- und Kluftkarren.

Die Rinnenkarren entstehen dadurch, daß das über Kalkwänden ablaufende Regenwasser infolge seiner lösenden Kraft allmählich Abflußrinnen eintieft, die an die Kannelierung dorischer Säulen erinnern. Ist das Gefälle der Kalkoberfläche weniger steil, so vereinigen sich die Abflußrinnen zu einem regelrechten, einem typischen Flußgebiet ähnelnden Geäder, wobei die Rinnen durch schmale Scheiden von einander getrennt und diese selbst wieder in scharfkantige, oft messerscharfe Firste zerschnitten werden.

Anders verläuft die Bildung von Kluftkarren. Da der Kalk nirgends in größeren Partien von gleichmäßiger Beschaffenheit ist, sondern gewöhnlich von kleinen Klüften und feinen Haarspalten durchsetzt ist, so bieten sich den Atmosphärilien überall leicht An-

griffspunkte. So bilden sich auf der ursprünglich glatten Oberfläche längs dieser Spältchen erst Ritzen, dann Schüsseln und schließlich offene Klüfte, die das Wasser aufsaugen. Diese Art von Karren bildet sich hauptsächlich auf ebener Kalkfläche, während auf steileren Gehängen beide Formen kombiniert vorkommen können.

Insoweit bietet die Penck'sche Karrenerklärung nichts wesentlich Neues. Unerklärt aber war bisher stets geblieben, warum die Karren in ihrer typischen Ausbildungsweise meist in einer bestimmten Höhenzone von über 1700 m vorkämen. Penck erklärt dies auf folgende Weise: Die schönsten Karrenfelder finden sich auf dem Boden alter Gletscher, die erst gegen das Ende der Eiszeit verschwunden sind. Wie die Gletschererosion in den kristallinischen Zentralalpen sogenannte Rundhöckerlandschaften herausmodellierte, so erzeugte sie auch in den Kalkalpen ähnliche Formen, die aber seit dieser Zeit durch das auffallende Regenwasser in der geschilderten Weise zerfressen und durch Abflußrinnen und Klüfte zerteilt wurden, doch so, daß durch die Karrenfelder die Gesamtform des Buckels noch hindurchleuchtet. Penck bemerkt, daß das Auf und Ab größerer Karrenfelder, z. B. im Steinernen Meere und im Dachsteinplateau, in der Tat große Aehnlichkeit mit Rundhöckern aufweise. Daß die typischen Karrenfelder nicht auch auf den Böden der großen (älteren) Vergletscherungen vorkommen, ist der zerstörenden Wirkung der Vegetation zuzuschreiben. Zwar bei der Karrenbildung selbst spielt diese so gut wie gar keine Rolle, sobald aber ein Karrenfeld von einer Vegetationsdecke überzogen wird, so vollenden Humus, Sickerwässer und Wurzeln das Werk der Zerstörung, so daß oft nur die bauchigen Partien der die Rinnen trennenden Schneiden als isolierte, im Erdreich eingebettete Karrensteine erhalten bleiben. Die in den eigentlichen Karstländern auftretenden verkarsteten Flächen weichen insofern von dem geschilderten Karrentypus der nördlichen Kalkgebirge ab, als die Rinnenform hier überall durch Klüfte ersetzt wird und das charakteristische Auf und

Ab der Rundhöckerlandschaften nicht mehr zu finden ist. Sie zeigen überdies eine viel größere Abhängigkeit vom Schichtenbau als jene. Sie sind ein älteres Glied der Entwicklungsreihe und bringen die geologische Struktur viel anschaulicher zum Ausdruck als die jüngeren Formen der nördlichen Kalkgebiete, die die ursprünglich vorhandenen Abdachungen noch erkennen lassen. Die Karstflächen sind eben schon seit dem Ende der Tertiärzeit der Verkarstung ausgesetzt, während die alpinen Karrenfelder erst seit dem Beginn der neolithischen Periode (?) nackt daliegen und dem zerstörenden Einfluß der Atmosphärilien ausgesetzt sind (S. 6—11).

An dieser Stelle wollen wir auch der Arbeiten von Max Eckert, einem Schüler Ratzels, gedenken, der sich wiederholt mit Spezialuntersuchungen über die Erosionstätigkeit im Kalkgebirge und namentlich über das Karrenproblem beschäftigt hat. Auch er hat bereits vor Penck auf die zerstörende Wirkung der Vegetation hingewiesen, schreibt dieser aber im Gegenteil zu jenem auch bei der Bildung der Karren eine nicht unwesentliche Rolle zu (Das Gottesackerplateau [ein Karrenfeld] in der Gebirgsgruppe des Hohen Ifen. Zeitschr. d. Deutsch. und Oesterr. A. V., 1900, S. 52–60). Sehr instruktiv ist die der Abhandlung beigegebene schematische Darstellung der Entwicklung und Zerstörung der Karren. Eckert erklärt die Karren (a. a. O., S. 59) wie überhaupt die gesamten Karsterscheinungen (Die Verwitterungsformen in den Alpen, insbesondere in den Kalkalpen. Zeitschrift d. Deutsch. und Oesterr. A. V., S. 34) als „Erosionsprozeß mit der Tendenz der Niveauverschiebung auf tiefere Stufen.“ Da Eckerts Definition der Karren das Wesen dieser Erosionsformen in besonders trefflicher Weise wiedergibt, so sei sie hier wörtlich mitgeteilt: „Die Karren oder Schratten sind eine in verhältnismäßig reinem Kalkstein vorkommende typische Oberflächenerscheinung, die sich in Furchen und dazwischenliegenden Firsten äußert und deren Entstehung außer an die Inhomogenität des Kalksteins vorzüglich an die durch

Gebirgsdruck entstandenen Klüftungsfähigkeit des Kalksteins im Allgemeinen und an die Wirkung der Atmosphärilien und pflanzlichen Organismen im Besonderen gebunden ist. (Das Gottesackerplateau. S. 60).“

Kehren wir nach dieser Abschweifung wieder zu den Anschauungen Pencks zurück, so haben wir uns noch kurz mit dessen Erklärung der Karstpoljen zu befassen. Hier weicht Penck namentlich von Cvijić ab, indem er die Entstehung der Poljen in der Mehrzahl der Fälle auf tektonische Vorfälle zurückführt, reine Erosionswirckung aber nur ausnahmsweise, z. B. beim Mostarsko-blato in der Herzegowina, annimmt. Mit Grund dagegen stimmt Penck in seinen Ansichten über die Poljenbildung im wesentlichen überein, weicht indessen bezüglich der die Kesselplastik verursachenden tektonischen Bewegungen von diesem insofern ab, als er nicht Senkung, sondern Hebung des Landes annimmt. In der nachmiocänen Zeit fand eine zweite Hebung des Landes statt, so daß die während der vorangehenden Einebnungsperiode zum Teil erst an die Oberfläche gebrachten Kreidekalke so weit emporgehoben wurden, daß die oberirdische Bewässerung aussetzte und nur subterrane Entwässerung wirksam war. Erst im Zusammenhang mit diesen tektonischen Bewegungen und der Verlegung der Wasserzirkulation in die Tiefe begann die Bildung des Karstphänomens. Grund dagegen weist, wie bereits erwähnt, nach, daß hier nur von mit Einbruchsvorgängen verknüpften Senkungen die Rede sein könne. Ob Penck durch diesen Nachweis seine Annahme von Hebungsvorgängen hat fallen lassen, geht aus seiner zweiten Publikation nicht hervor, doch läßt eine Bemerkung, in der er von „Senkung eines Küstengebietes“ spricht, die Annahme zu, daß auch bezüglich dieses Punktes nunmehr volle Uebereinstimmung der beiden Forscher besteht.

Schluß.

Wir können jetzt nach den Ergebnissen der Forschungen und Arbeiten von Cvijić, Grund, Eckert und Penck mit vollem Rechte behaupten, daß die endliche Entscheidung in dem lange dauernden Kampf der Meinungen zu Gunsten der Erosionstheorie ausgefallen ist, freilich nicht in dem Sinne, als ob alle die komplizierten Erscheinungsformen der Karstgebiete als Erosionsgebilde aufzufassen seien, sondern nur in dem Sinne, daß die bedingenden Ursachen des Karstphänomens einzig und allein in der leichten Löslichkeit des Kalkes im Wasser zu suchen sind, während die in einem derart unterwaschenen Gebiete naturgemäß häufig zu verzeichnenden Einsturzgebilde als sekundäre Vorgänge anzusehen sind und mit dem Karstphänomen als solchem nichts zu tun haben. Denn nur die Erosionsformen sind typische Erscheinungen der Kalk-, besonders der Karstgebiete, Einsturzerscheinungen dagegen sind Formen der Erdoberfläche überhaupt. Was die Karstpoljen anlangt, so sind auch diese, wie namentlich von Grund hervorgehoben wurde (a. a. O., S. 195), keine Karstphänomene im eigentlichen Sinne, da die Veranlassung zu ihrer Entstehung (tektonische Krustenbewegungen) eine allgemein auf die Erdoberfläche wirkende Ursache ist, und sie selbst erst unter dem Einflusse der Karsthydrographie, d. h. durch ihre unterirdische Bewässerung zu einem Bestandteile des Karstphänomens werden.

Daß der einseitige Standpunkt der Einsturztheoretiker heute als überwunden zu gelten hat, geht auch aus den neueren Lehr- und Handbüchern der physischen Erdkunde und der Geologie hervor, die zum überwiegenden Teile den von uns gekennzeichneten vermittelnden Standpunkt vertreten. Wir heben besonders hervor: Melch. Neumayr (Erdgeschichte 1895, Bd. I, S. 500—510) A. Supan (Grundzüge der

physischen Erdkunde, 2. Aufl., 1896, S. 356—364) und Fr. Ratzel (Die Erde und das Leben, Bd. I, S. 544 u. f.). Wenn freilich der zuletzt genannte (a. a. O., S. 545) meint, der Streit, ob die Dolinen, durch Spülwirkung oder durch Einsturz entstanden seien, sei müßig, da beide Kräfte bei der Bildung derselben zusammenwirkten, so können wir diesen indifferenten Standpunkt nicht teilen, nicht nur deshalb, weil die sichere Lösung der Karstprobleme von eminenter Bedeutung für die Wirtschaftsverhältnisse des Karstes ist, sondern namentlich deshalb, weil diese Frage für die Erkenntnis der letzten Ursachen der Karsterscheinungen durchaus nicht gleichgültig ist.

Der Vollständigkeit halber darf jedoch auch nicht verschwiegen werden, daß sich gegen die Grund'sche Grundwassertheorie bereits Widerspruch erhob. In der bereits in der Einleitung erwähnten „Höhlenkunde" von W. v. Knebel (S. 99 u. 144) werden eine Reihe von Bedenken gegen Cvijić und Grund geltend gemacht, namentlich auch die Grundwassertheorie völlig verworfen. Leider hat W. v. Knebel die früher gegebene Anregung, die Einsturzgebilde und Erosionserscheinungen durch eine besondere Nomenklatur zu unterscheiden, nicht befolgt, sondern für beide Formen den Namen „Dolinen" beibehalten und so der Verwirrung wiederum Vorschub geleistet. Es ist dies um so bedauerlicher, als das sonst sehr gediegene Buch, infolge des Mangels einer brauchbaren Höhlenkunde gewiß in weitere Kreise dringen wird. Man kann eben nie zu einer klaren Erkenntnis vom Wesen des Karstphänomens gelangen, wenn man genetisch so grundverschiedene Gebilde wie die Dolinen und die Schlote (Penck nennt die letzteren Licht- und Schlundlöcher) mit dem gleichen Namen bezeichnet. Bezüglich der Einwände W. v. Knebels gegen die Grund'sche Grundwassertheorie müssen wir auf das Buch selbst verweisen, da wir dieselben hier nicht nachprüfen können und erst die Stellungnahme der angegriffenen Forscher abzuwarten bleibt.